



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ

FACULTY OF CHEMISTRY

ÚSTAV CHEMIE POTRAVIN A BIOTECHNOLOGIÍ

INSTITUTE OF FOOD SCIENCE AND BIOTECHNOLOGY

**KONCENTRACE VYBRANÝCH KOVŮ V TRADIČNÍCH A
BYLINNÝCH ČAJÍCH**

CONCENTRATION OF SELECTED METALS IN TRADITIONAL AND HERBAL TEAS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Eliška Brlíková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Pavel Diviš, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Číslo práce: FCH-BAK1448/2018 Akademický rok: 2018/19
Ústav: Ústav chemie potravin a biotechnologií
Studentka: **Eliška Brlíková**
Studijní program: Chemie a technologie potravin
Studijní obor: Potravinářská chemie
Vedoucí práce: **doc. Ing. Pavel Diviš, Ph.D.**

Název bakalářské práce:

Koncentrace vybraných kovů v tradičních a bylinných čajích

Zadání bakalářské práce:

1. Zpracování literární rešerše
2. Příprava čajových nálevů
3. Analýza čajových nálevů pomocí ICP–OES
4. Mineralizace vzorků čaje
5. Analýza mineralizovaných vzorků čaje pomocí ICP–OES
6. Zpracování výsledků a diskuse

Termín odevzdání bakalářské práce: 24.5.2019:

Bakalářská práce se odevzdává v děkanem stanoveném počtu exemplářů na sekretariát ústavu. Toto zadání je součástí bakalářské práce.

Eliška Brlíková
student(ka)

doc. Ing. Pavel Diviš, Ph.D.
vedoucí práce

prof. RNDr. Ivana Márová, CSc.
vedoucí ústavu

V Brně dne 31.1.2019

prof. Ing. Martin Weiter, Ph.D.
děkan

Abstrakt

Tato práce se zabývala stanovením koncentrací vybraných kovů v sypaných zelených, černých a bylinných čajů zakoupených v České republice a mimo ni. Všechny vzorky byly analyzovány pomocí metody ICP-OES. Většina kovů nebyla ve výluzích detekována. Výsledné koncentrace kovů, které v čajových výluzích byly detekovány, splňují legislativní limity a netvoří tak zdravotní riziko pro člověka. Statistickým zpracováním naměřených výsledků se na základě rozdílných koncentrací vybraných prvků podařilo od sebe odlišit výluhy z černých a ze zelených čajů.

Abstract

This thesis deals with determination of selected metals concentrations in loose green, black and herbal teas purchased in the Czech Republic and beyond. All samples were analyzed by ICP-OES. Most metals were not detected in the extracts. The final metal concentrations that have been detected in the tea extracts meet the legislative limits and do not bring a health risk to humans. The statistical processing of the measured results, based on different concentrations of selected elements, managed to distinguish the extracts from black and green teas.

Klíčová slova

Čaj, těžké kovy, hliník, minerální látky, ICP-OES

Keywords

Tea, heavy metals, aluminium, minerals, ICP-OES

BRLÍKOVÁ, Eliška. Koncentrace vybraných kovů v tradičních a bylinných čajích. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/115773>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Ústav chemie potravin a biotechnologií. Vedoucí práce Pavel Diviš.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citovala. Bakalářská práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího bakalářské práce a děkana FCH VUT.

.....
podpis studenta

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Pavlu Divišovi Ph.D. za odborné vedení, konzultace a trpělivost.

OBSAH

OBSAH.....	5
1 ÚVOD.....	7
2 TEORETICKÁ ČÁST	8
2.1 Čaj.....	8
2.1.1 Čajovník čínský (<i>Camellia sinensis</i>)	8
2.1.2 Skupiny čaje pravého.....	9
2.1.3 Látky obsažené v čaji.....	10
2.1.4 Bylinný čaj.....	10
2.2 Minerální látky.....	11
2.2.1 Sodík (Na), draslík (K)	12
2.2.2 Vápník (Ca)	12
2.2.3 Fosfor (P)	12
2.2.4 Hořčík (Mg).....	12
2.2.5 Železo (Fe).....	13
2.2.6 Zinek (Zn).....	13
2.2.7 Měď (Cu)	13
2.2.8 Mangan (Mn).....	14
2.2.9 Kobalt (Co)	14
2.3 Rizikové prvky.....	14
2.3.1 Kadmium (Cd).....	15
2.3.2 Chrom (Cr)	15
2.3.3 Nikl (Ni)	16
2.3.4 Olovo (Pb)	16
2.3.5 Arsen (As).....	16
2.3.6 Hliník (Al)	17
2.4 Metody prvkové analýzy	17
2.4.1 Metoda ICP-OES	18
3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	21
3.1 Použité přístroje.....	21
3.2 Použité chemikálie.....	22
3.3 Postupy přípravy vzorků.....	22
3.3.1 Čajový výluh.....	22
3.3.2 Mikrovlnný rozklad	23
4 VÝSLEDKY	25
4.1 Čaje.....	25

4.2	Výluhy	30
5	DISKUZE	35
5.1	Čaje.....	35
5.2	Výluhy	37
6	ZÁVĚR.....	42
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	43
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	46

1 ÚVOD

Čaj jako nápoj patří ve světě k nejoblíbenějším nápojům vůbec, a to díky látkám, které přirozeně obsahuje. Mezi tyto látky patří hlavně kofein, který má povzbuzující účinky, polyfenoly, ale také některé minerální látky. Základní druhy čajů, jako zelený a černý, se liší v způsobu, jakým jsou zpracovávány, pochází však ze stejné rostliny Čajovník čínský. Bylinné čaje jsou nálevy z různých druhů bylin, které mají svou specifickou vůni, chuť a účinky na lidský organismus.

Mimo látky, které čaj přirozeně obsahuje, a to jak organického, tak anorganického původu, v něm často můžeme nalézt prvky pro zdraví škodlivé. Těmito prvky může být čaj kontaminován již při pěstování na nevhodné půdě, nebo při zpracování či vlivem uvolňování nevhodných látek z obalu do čaje.

Tato bakalářská práce se zabývá koncentrací vybraných těžkých kovů v sypaných bylinných, černých a zelených čajích, které byly zakoupeny v běžně dostupných řetězcích v České republice, anebo dovezeny přímo ze zahraničí.

Cílem této práce je zjistit v jaké koncentraci se zkoumané prvky v jednotlivých vzorcích objevují, jestli toto množství překračuje legislativní limity, anebo představují pro konzumenta zdravotní riziko.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Čaj

Čaj pravý je podle legislativy definován jako výrobek z výhonků, listů, pupenů nebo jemných částí zdřevnatělých stonků čajovníku *Camellia sinensis* (Linnaeus), popřípadě jejich kombinací. Čaj pravý se dělí na skupiny, a to zelený čaj, polofermentovaný čaj a čaj černý. Dalším druhem je oproti čaji pravému např. bylinný čaj, který nemá specifikované skupiny. (Vyhláška č. 78/2003 Sb., 2003)

Tento nealkoholický nápoj původem z jižní a jihovýchodní Číny je druhým nejrozšířenějším nápojem na světě. Mezi lidmi je oblíbený pro své kladně hodnocené organoleptické vlastnosti, ale také díky obsahu různých zdraví prospěšných látek. (Valter, 2000)

2.1.1 Čajovník čínský (*Camellia sinensis*)

Druh čajovník čínský patří do čeledi čajovníkovité (*Theaceae*). Tato rostlina se pěstuje nejčastěji jako keř v tropických a subtropických oblastech v různých nadmořských výškách (až nad 2000 m) dnes již po celém světě. (Valíček, 2002)

Z pupenů a nejčastěji dvou koncových lístků keře čajovníku čínského, které se sbírají, se dále zpracovává několik druhů čajů, které se liší svojí chutí, barvou a kvalitou. Původně z jižní a jihovýchodní části Číny se díky značné oblibě a zaoceánským obchodům rozšířil postupně do celého světa a v určitých odrůdách je v dnešní době pěstován na všech kontinentech světa. (Norman, & Edmonds, 1992)

2.1.1.1 Výskyt a pěstování

Čajovník čínský (*Camellia sinensis*) je keř nebo strom, který dorůstá výšky až 15 metrů, aby se ale mohl lépe sklízet, pravidelně se ořezává a dorůstá tak výšky maximálně 1,2 metru. Listy této rostliny jsou střídavé, různě dlouhé a tmavě zelené. Čajovník patří mezi rostliny, které se v dnešní době pěstují již na všech kontinentech světa, v různých zeměpisných podmínkách, původně se ale jedná o rostlinu subtropickou a tropickou. Pěstitelé rozdělují čajovník do tří skupin, které se liší výškou rostliny, délkou čajových listů a odolností k teplotě. Čínská skupina patří mezi nejmenší, nejvytrvalejší a nejkvalitnější. Skupina ázámská se řadí do tropického klimatu. Indočínská (kambodžská) skupina je nejméně rozšířená. Často se pěstují kříženci těchto skupin, kteří poskytují sice větší výtěžnost, ale nevyznačují se takovou jakostí jako původní skupiny. (Valíček, 2002) (Žáček, 1981)

2.1.1.2 Sběr

Z čajovníku čínského se sbírají hlavně koncové zelené lístky a pupeny, a to nejdříve po třech až čtyřech letech od vysazení mladé rostliny. Sbíraným částem se říká tzv. fleše, ihned po sklizni se musí přepravit k dalšímu zpracování, aby nedošlo ke ztrátě potřebných látek. Podle druhu a kvality čaje se i liší počet sklizní za rok, která se pohybuje od třech do třiceti, závisí to také na četnosti srážek v dané oblasti.

Sklizeň i v dnešní době probíhá na mnohých plantážích manuálně bez pomoci strojů, záleží však na kvalitativních požadavcích majitele plantáží, pokud je sběr proveden speciálními stroji (kombajny), ovlivňuje to kvalitu konečného produktu. (Valter, 2000) (Valíček, 2002) (Žáček, 1981)

2.1.1.3 Zpracování

Sesbírané čajové lístky s pupeny, či další části keře čajovníku pravého se zpravidla zpracovávají v oblasti, kde se i pěstují. Základní princip zpracování se liší pro různé skupiny čaje pravého. Černý čaj se nechává zavadnout, svinout, fermentovat, sušit a pak se vytřídí. Zelený čaj se pouze tepelně upraví, tvaruje, dosouší, a nakonec se vytřídí. Postupem času se přijalo parfémování čajů květy nebo přírodními silicemi. Velké a neporušené čajové listy se prodávají jako sypaný čaj, ty, které se zlomily, rozdrtily a jinak poškodily se prodávají jako čaj balený v čajových sáčkích. (Valter, 2000) (Valíček, 2002) (Žáček, 1981)

2.1.2 Skupiny čaje pravého

Podle vyhlášky Ministerstva zemědělství České republiky se čaj pravý dělí do tří skupin na zelený čaj, polofermentovaný čaj a černý čaj. Toto dělení je vytvořeno na základě odlišného způsobu zpracování čajových lístků. (Vyhláška č. 78/2003 Sb., 2003)

2.1.2.1 Čaj zelený

Čajové lístky se po sklizni nechají tepelně upravit, aby se zamezilo aktivitě enzymů, které se podílejí na fermentačních procesech, ty jsou v případě výroby čaje zeleného nežádoucí. Inaktivace enzymů se děje pomocí zvýšené teploty, a to parou nebo přímým žářem. Pokud byl zvolen přímý žár, který je typičtější pro oblast Číny, přehrabuje se čaj na cihlové či kovové rozehráté ploše. Takto enzymově inaktivovaný čajový list se dále ještě tvaruje a dosouší podle potřeby. Dosoušení je důležité z hlediska mikrobiální kontaminace a délky skladování. Následně se čajové lístky ochladí a protřídí podle kvality. Čím větší a neporušenější čajový lístek je, tím je kvalitnější, rozdrcené a malé kousky lístků se dávají do čajových směsí nebo do porcovaných čajů. Zelený čaj má typický světle zelený nálev výrazné vůně a mírně nahořklé chuti. (Valter, 2000)

2.1.2.2 Černý čaj

Čajové lístky se po sklizni nechají nejprve zavadnout, aby se následně mohly srolovat, aniž by se roztrhly. Při tvarování se narušuje struktura listu a vytéká z něj šťáva, která je bohatá na enzymy, díky nimž probíhá následně fermentace. Fermentace v tomto případě znamená enzymatická reakce, při níž se oxidují polyfenoly vzdušným kyslíkem a vzniká hnědé zabarvení. Následně se tato reakce musí zastavit, a to pomocí teplého vzduchu. Takto upravené čajové lístky se nechají zchladit a roztřídí se. Čím větší a neporušenější čajový lístek je, tím je kvalitnější, rozdrcené a malé kousky lístků se dávají do čajových směsí nebo do porcovaných čajů. Černý čaj má typický červený nálev výrazné vůně i chuti.

Do skupiny černých čajů patří například i speciální Pu-Erh, který je několikrát fermentovaný, na fermentaci se podílí i bakterie a plísně, které jsou přirozeně přítomné na čajových listech. (Valter, 2000)

2.1.2.3 Ostatní druhy

Klasické zelené a černé čaje se dále mohou parfemovat např. květy či přírodními silicemi, které zjemňují, zvýrazňují nebo doplňují chuť originálního čaje. Postupem času se díky úpravám základního postupu přípravy čaje vytvořily další druhy, jako například bílý, žlutý a Pu-Erh. Z rostlin příbuzných čajovníku čínského se vyrábí čaj nazývaný Rooibos, typický pro Jižní Afriku. (Norman, & Edmonds, 1992) (Valíček, 2002) (Valter, 2000)

2.1.3 Látky obsažené v čaji

Čaj jako nápoj, je již od nepaměti vnímán jako zdraví prospěšný. Obsahuje mnoho organických, ale i anorganických látek. Mezi ty organické patří hlavně kofein, který má povzbuzující účinek na organismus, polyfenoly, a to především katechiny a dále také silice, které hrají důležitou roli při tvorbě specifické vůně a barvy, stejně jako katechin. Dalšími organickými látkami jsou samozřejmě bílkoviny, sacharidy a vláknina. Z anorganických látek je důležité zmínit minerální látky, které můžeme rozdělit na mikro a makro prvky. Prvky, které se v čajích vyskytují ve větším množství jsou draslík, hořčík a fosfor, množství minerálních látek je ovšem závislé na druhu čaje. Do čajů se nesmějí přidávat žádné aditiva. Přirozeně mohou obsahovat stopová množství i dalších prvků například těžkých kovů, pokud však je jejich obsah zvýšený, je to způsobeno kontaminací.

(Valter, 2000) (Žáček, 1981)

2.1.4 Bylinný čaj

Tvoří samostatnou skupinu čajů, podle legislativy Ministerstva zemědělství České republiky. Jedná se o nálev z rostlin, kromě čajovníku čínského. (Vyhláška č. 78/2003 Sb., 2003) Nálevy z rostlin jsou u lidí oblíbené už po staletí. Jednotlivé rostliny mají své specifické látky, které ovlivňují různé funkce a části lidského těla, a proto i dávka je pro různé druhy odlišná. Bylinné čaje se připravují z čerstvých nebo sušených částí rostlin, jako jsou kořeny, natě, listy, květy či plody. Z těchto částí rostlin se vytváří buď macerát, výluh nebo odvar, podle odlišné teploty vody, do které se byliny přidávají. (Léčivé rostliny, 2010)

Mezi nejčastěji užívané byliny, které se používají k přípravě čajů jsou běžně dostupné rostliny jako je heřmánek pravý (*Matricaria chamomilla*), meduňka lékařská (*Melissa officinalis*), poté například kopřiva dvoudomá (*Urtica dioica*), šalvěj lékařská (*Salvia officinalis*), ostropestřec mariánský (*Silybum marianum*) a další. (Rubášová, 2017)

2.1.4.1 Účinné látky a použití

Látky působící léčebně na člověka nebo zvíře. Jedná se většinou o složité organické látky, které jsou více či méně přítomny v dané bylině a dodávají ji specifickou léčebnou vlastnost. Hlavní účinné látky jsou podporovány vedlejšími účinnými a doprovodnými látkami, které jsou neméně důležité. Mezi hlavní účinné látky patří éterické oleje (silice), alkaloidy, anthranoidy, hořčiny, kumariny, mastné oleje, flavonoidy, třísloviny, glykosidy ovlivňující srdeční činnost, saponiny a rostlinné slizy. (Léčivé rostliny, 2010) (Rubášová, 2017) (Dugas, 2015)

Heřmánek pravý (*Matricaria cahmomilla*), bylina pěstující se téměř po celém světě, pochází z východního Středomoří. Používají se sušené květy. Hlavními účinnými látkami jsou dva éterické oleje, flavonoidy, kumariny, fenolkarbonové kyseliny a polysacharidy. Používá se proti zánětům, křečím, jako ochrana proti žaludečním vředům, pro uklidnění, jako dezinfekce a další. (Léčivé rostliny, 2010) (Rubášová, 2017) (Dugas, 2015)

Meduňka lékařská (*Melissa officinalis*), bylina pocházející z východního Středomoří. Používají se sušené listy, jako mletá najde využití také jako koření. Hlavními účinnými látkami éterické oleje s citralem, třísloviny, flavonoidy a triterpenové kyseliny. Používá se pro uklidnění, proti křečím a nadýmání a pro jeho antibakteriální účinky a další. (Léčivé rostliny, 2010) (Rubášová, 2017) (Dugas, 2015)

Šalvěj lékařská (*Salvia officinalis*) původem nejspíše z Balkánského poloostrova, hojně se pěstuje a v teplých oblastech má tendenci zplaňovat. Používají se sušené listy, nebo celá horní část kvetoucí natě ještě před zdřevnatěním. Hlavní účinnou látkou je éterický olej, třísloviny, diterpenové hořčiny, fenolové glykosidy a flavonoidy. Používá se především ke kloktání a výplachu úst při zánětech sliznice, nosohltanu a dásní. Důležité je dodržování dávkování, ve vyšším množství působí toxicky. (Léčivé rostliny, 2010) (Rubášová, 2017) (Dugas, 2015)

Růže šípková (*Rosa canina*) vyskytující se hlavně v Evropě, ale také ve střední Asii. Do čajů se používají její nepravé plody (šípky), jedná se o masité červené češule různého tvaru, nejčastěji však kulovitého, na povrchu jsou hladké, uvnitř však chlupaté. Čerstvá slupka nepravého plodu obsahuje vysoký obsah vitamínu C, jeho hodnoty ale prudce klesají po utrnutí a vysušení, proto se do čajů často přidává pouze pro doplnění a zlepšení chuti. (Léčivé rostliny, 2010) (Rubášová, 2017) (Dugas, 2015)

Ostropestřec mariánský (*Silybum marianum*) původem ze Středomoří a jihovýchodní Asie, rozšířil se jako okrasná rostlina. Používají se plody (zralé nažky bez chmýru). Hlavní účinnou látkou je soubor látek označován jako silymarin, jedná se o směs flavonolignanů, dalšími látkami jsou mastné oleje a steroly. (Léčivé rostliny, 2010) (Rubášová, 2017) (Dugas, 2015)

2.2 Minerální látky

Minerální látky jsou společně se sacharidy, proteiny, tuky a vodou, nedílnou součástí každé suroviny a hrají významnou roli v lidském těle. V buňkách mají mnoho funkčních a strukturních rolí, kterými

napomáhají zajišťovat správnou funkci organismu. Podle jejich zastoupení se dělí na makro (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^-) a mikro (Fe, Zn, Cu, Mn, Co, Ni, Mo a I) prvky. V každé potravíně je najdeme v rozlišném zastoupení, to záleží na druhu potraviny, ale hlavně na podmínkách, při kterých byla potravina pěstována nebo chována. Přispívají také k chuti a textuře. Pokud se štěpí mohou poskytovat kofaktory pro enzymy napomáhající trávení. Minerály se řadí mezi hlavní třídu živin, jejich hodnoty a schopnosti interagovat jsou ovlivňovány přípravou a vařením suroviny. Nejvíce minerálů obsahují čerstvé tepelně neupravené suroviny. (Harris, 2014)

2.2.1 Sodík (Na), draslík (K)

Dva prvky, jejichž funkce v lidském těle spolu úzce souvisí. Společně mají za úkol regulovat rovnováhu tekutin a membránový potenciál. Sodíkový gradient na membránách buněk umožňuje pohyb aminokyselin a cukrů do buňky, navíc stimuluje nervové impulsy aktivující svalové kontrakce. Na rozdíl od draselných iontů se ty sodné nacházejí mimo buňku. Draslík má podobnou funkci v opačném směru gradientu. Pro tyto minerály neexistuje maximální denní dávka, ale spíše, než s nedostatkem se tělo často potýká s nadbytkem těchto minerálů i přesto, že pomocí moče a potu se z těla dostávají ve vysokých podílech. Doporučená denní dávka pro sodík je 550–2400 mg a draslík 2000 mg. (Harris, 2014) (Referenční hodnoty pro příjem živin, 2011)

2.2.2 Vápník (Ca)

Elementární vápník byl objeven později než jeho sloučeniny, a to až v roce 1808. Jedná se o kov alkalických zemin, který se vyskytuje volně v přírodě hojně v podobě sloučenin, jako například vápenec (CaCO_3), síran vápenatý (CaSO_4) a další. V těle je z 99 % obsažen v kostech, kde plní hlavní stavební funkci a ve zbytku je obsažen v buňkách. Doporučená denní dávka pro vápník činí 1000 mg. (Harris, 2014) (Referenční hodnoty pro příjem živin, 2011)

2.2.3 Fosfor (P)

Tento nekov byl objeven v Německu roku 1669 a ve volné přírodě se kvůli své nestálosti na vzduchu vyskytuje ve sloučeninách. V lidském organismu má hned několik důležitých funkcí, je součástí nukleových kyselin (DNA, RNA) a také díky svým vazbám slouží jako přenašeč energie formou ATP. Najdeme ho podobně jako vápník hlavně v kostech a zubech, ale také například v membránách buněk. Ionty fosforu v krvi mají za úkol udržovat stabilní hodnotu pH. Doporučená denní dávka pro fosfor je 700 mg. (Harris, 2014) (Referenční hodnoty pro příjem živin, 2011)

2.2.4 Hořčík (Mg)

Alkalický kov, čtvrtý nejrozšířenější minerál v těle, který se ukládá hlavně v kostech a svalech. Je kofaktorem pro více než tři sta enzymů, které v převážné většinou souvisí s přenosem ATP. Je obsažen v molekule chlorofylu, největším zdrojem hořčíku jsou tedy zelené rostliny, dále pak luštěniny, oříšky,

v menším množství jej můžeme nalézt také v mase a mléce. Jeho obsah v těle je důležitý, a hlavně dospělí jedinci trpí jeho nedostatkem, ten se může projevit záchvaty, křečemi svalů, tetanem a dalšími příznaky. Pokud požijeme potravinový doplněk můžeme se však hořčíkem předávkovat, a to způsobí nejčastěji průjem, ale i nevolnosti, bolesti břicha a další. Hořčík si je velmi podobný s vápníkem a sdílí s ním několik společných reakcí. I přesto, že spolu úzce souvisí, mohou mít na sebe negativní vliv a způsobovat odvápnění kostí. Doporučená denní dávka pro hořčík je 350 mg pro muže a 300 mg pro ženy. (Harris, 2014) (Referenční hodnoty pro příjem živin, 2011)

2.2.5 Železo (Fe)

Historie tohoto vícemocného kovu se píše již od starověkého Řecka, kdy se užíval proti svalové slabosti vojáků. Ovšem až na konci 19. století byla poprvé odborně sepsána důležitost železa pro živý organismus. Jedinečná vlastnost železa vyskytovat se jak v železitě (Fe^{3+}) tak železnaté (Fe^{2+}) formě hraje důležitou roli v redoxních reakcích a při transportu elektronů. Železo se strategicky vyskytuje v membránách buněk jako součást železo-sírných komplexu. V lidském těle se nejvíce tohoto kovu vyskytuje v krevních buňkách a až 80 % denního příjmu je využito k syntéze hemoglobinu. Železo ze stárnoucích krvinek je recyklováno tělem a použito k udržení požadované hladiny železa v krvi, dokáže tak pokrýt ztráty způsobené pocením, vylučováním stolice či menstruací. Pokud chceme mít pravidelný příjem železa ve stravě, měli bychom konzumovat hlavně červené maso, vaječný žloutek, různé druhy semen a ořechu, nebo také například špenát či kapustu. Doporučená denní dávka pro železo je 10 mg pro muže a 15 mg pro ženy. (Harris, 2014) (Referenční hodnoty pro příjem živin, 2011)

2.2.6 Zinek (Zn)

Povědomí o tomto prvku máme již z roku 1509, kdy byl objeven, ovšem až po přibližně tři sta let později byl vnímán zinek v souvislosti s biologickým systémem. Nejvíce je zinek zastoupen v kostech a kosterních svalech, činí to až 80 % z celkového obsahu zinku v lidském těle. Dále se vyskytuje také v kůži, játrech, srdci ledvinách a mozku. Zinek se vyskytuje pouze v jednom oxidačním stavu (Zn^{2+}), tato skutečnost mu dává možnost tvořit velmi silné Lewisovy kyseliny s proteiny a nukleovými kyselinami. Funguje jako kofaktor pro více než tři sta enzymů a dvě stě transkripčních faktorů. Nejbohatší potraviny na zinek jsou jednoznačně mořské plody, dále taky červené maso a vejce. Při nedostatku zinku v těle může docházet k různým vývojovým vadám, oslabení imunity a dalším nemocem. Doporučená denní dávka zinku je 10 mg pro muže a 7 mg pro ženy. (Harris, 2014) (Referenční hodnoty pro příjem živin, 2011)

2.2.7 Měď (Cu)

Historie tohoto kovu začala na ostrově Kypr, kde byla objevena Řeky a započala tak dobu měděnou. V roce 1928 byla objevena souvislost mezi železem a mědí, zjistilo se, že společně obnovují krevní hemoglobin. Redoxní chování mědi totiž působí oxidačně právě na železnaté ionty. Důležitou funkci

má měď také u enzymů, které jsou na ní závislé a ovlivňují elasticitu tkání. V lidském těle můžeme nalézt měď nejčastěji v játrech, ledvinách a srdečních svalech. V potravě se vyskytují nejvíce v mořských plodech poté také v obilovinách, ořechách a listech některé zelené zeleniny. Byly zaznamenány dvě významné onemocnění v souvislosti s mědí, první byla v roce 1906 popsána Wilsonova nemoc, jedinci s tímto onemocněním se nepřírozně nahromaduje měď v játrech a mozku, což má za následek poškození nervového systému a funkci jater. Druhé onemocnění bylo popsáno v šedesátých letech 20. století jako Menkensova nemoc, která postihuje hlavně děti do tří let, tito jedinci naopak nemohou přijmout měď do těla, což má za následek výrazné žilkové linky na hlavě, kde jim buď vůbec nerostou vlasy nebo velmi málo a ve špatné kvalitě. Obě tyto nemoci jsou následek genové mutace. DDD mědi je 1–15 mg. (Harris, 2014) (Referenční hodnoty pro příjem živin, 2011)

2.2.8 Mangan (Mn)

Tento velmi málo prostudovaný prvek objevil v roce 1774 Carl Scheele, jako černý kov byl však znám už od starého Řecka. Mangan je známý spíše pro svoji toxicitu než jako důležitá minerální látka. Díky tomu, že Mn^{2+} má stejnou elektronovou konfiguraci jako Fe^{3+} , dochází k jejich konkurenci na vazebných místech transferrinu a mangan tak závažně narušuje metabolismus železa. Ovlivňuje v těle také pár enzymů, které však hrají nenahraditelnou funkci při biochemických reakcích v buňkách. Je potřebný pro kosti a tkáně, ale především jako katalyzátor při metabolismu uhlovodíků, aminokyselin a tuků. Můžeme ho najít v zelených listech zeleniny, ořích a v čaji. Pokud by měl lidský organismus nedostatek tohoto minerálu, došlo by k defektu kostí. DDD manganu je pro muže 2 mg a pro ženy 5 mg. (Harris, 2014) (Referenční hodnoty pro příjem živin, 2011)

2.2.9 Kobalt (Co)

Švéd Georg Brandt objevil kobalt v 18. století, přibližně o dvě stě let později se ukázalo, že je důležitou součástí corrinového kruhu vitamínu B12. Konzumací mořských plodů, červeného masa, zelených částí rostlin a také třeba jater dosáhneme požadované denní dávky kobaltu. Nedostatek kobaltu se může projevit nejen fyzicky, ale také psychicky (deprese, ztráta paměti apod.). Kobalt může být také v určité dávce toxický, a to třeba pro plíce, při přenášení částic vzduchem, nebo kůži. Doporučená denní dávka pro kobalt není stanovena. (Harris, 2014)

2.3 Rizikové prvky

Jeden ze tří nejčastějších způsobů kontaminace potravin je pěstování rostliny na kontaminované půdě, ta je zamořena často vlivem používání nebezpečných a zdraví škodlivých zbraní v minulosti (2. světová válka), například bývalé minové pole. Znehodnocená půda se však může nacházet i v blízkosti průmyslových továren, které se zbavují nebezpečného odpadu vyvážením do okolí, nebo vylíváním do řek. Další častý způsob kontaminace je nadměrné používání pesticidů, které obsahují zdraví škodlivé látky usazující se v surovině. Pesticidy nemusí ovlivňovat senzorické vlastnosti suroviny a o to víc jsou

škodlivé, nejdou totiž jednoduše a přímo odhalit. Jejich používání je v posledních letech redukováno, kontrolováno a neustále aktualizováno, aspoň na území Evropské unie. Posledním velmi častým způsobem, je kontaminace z obalu, ve kterém je potravin zabalená. Obal je v přímém kontaktu jak s potravinou, tak s okolím a špatným skladováním, nebo špatně zvoleným obalem pro určitou potravinu se mohou z něj uvolňovat zdraví škodlivé látky. (Food safety, 2003) (Rasco, 2005)

Všechny těžké kovy nemají legislativně stanovené limity, ty mají dané jen olovo, kadmium a rtuť. Pro čaje neexistuje přesný limit, existuje však například pro čerstvé byliny, tyto hodnoty nám mohou posloužit jako orientační. (Food safety, 2003) (Rasco, 2005)

2.3.1 Kadmium (Cd)

Prvek dvanácté skupiny, který byl objeven v roce 1817 v Německu. Jedná se o stříbrný, měkký kov, který lze krájet nožem. Kadmium je využíváno v Ni-Cd bateriích, k oplechování povrchů, jako stabilizátor v plastech, ale také jako červeno-žluté pigmenty na keramice. (Food safety, 2003)

Kadmium má zatím neznámou funkci v lidském metabolismu. Tento prvek má negativní vliv na ledviny a kosti člověka. Při požití vyvolává zvracení, průjem, poškození ledvin a odvápnění kostí. V těle se může kumulovat a je definováno jako potencionální karcinogenní látka. Velké problémy s otravou kadmiem byly v minulosti hlášeny například v Japonsku, kde po druhé světové válce byla kadmiem kontaminovaná voda z důvodů používání min v této oblasti. Světová zdravotní organizace (WHO) stanovila týdenní dávku kadmia na $0,007 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ vztáženou na hmotnost člověka (body weight). (Food safety, 2003)

2.3.2 Chrom (Cr)

Prvek šesté skupiny, který byl objeven v roce 1797 ve Francii. Chrom je modro-bílý, tvrdý, ale zároveň křehký, lesklý kov, který je odolný proti korozi. Jeho nejvýznamnější vlastností je schopnost odolávat korozi, díky tomu se používá k oplechování povrchů, také jako slitina v nerezové oceli. Chrom se také používá k opalování kůží při výrobě usní. (Food safety, 2003) (Harris, 2014)

Kvůli toho, že je na většině povrchů strojů, ale i běžných kuchyňských předmětů a nástrojů přichází do přímého styku s potravinami, a to jak při výrobě, tak při zpracování. Nejčastěji se jako kontaminant vyskytuje ve formě Cr^{3+} , ve které hraje důležitou roli v lidském organismu cukrů. Chromité ionty mohou ovlivňovat toleranci glukosy. Ve formě Cr^{6+} se vyskytuje ve vodě, konzumace takto kontaminované vody může vyvolávat ekzémy, alergie atd. V běžném stanovení chromové kontaminace neumíme tyto dva ionty od sebe odlišit. V dnešní době hrozí spíše kontaminace skrz produkty obsahující chrom, jako jsou fosfátové detergenty a opálená kůže. (Food safety, 2003) (Harris, 2014)

2.3.3 Nikl (Ni)

Kov objeven v roce 1751 ve Švédsku. Nikl je šedo-bílý, lesklý, dobře tvarovatelný prvek odolný proti korozi. Našel využití hlavně ve slitinách pro výrobu mincí a v nerezové oceli, pro pokovování kovů a v bateriích. Nelze zapomenout jeho využití jako katalyzátor při chemických procesech. (Food safety, 2003)

Nikl se může nacházet prakticky v každé potravíně, ale v různých hladinách. Nízkou hladinu obsahu niklu vykazují zvířecí produkty a mléko, střední hladinu pak obiloviny, ovoce a bobulovité rostliny a nejvyšší obsah niklu můžeme zaznamenat např. v kakau. Většina niklu, který člověk konzumuje nepochází z potravy ale z vody, která se připravovala v pokovovaných a nerezových ohřívacích a do těla se vstřebává snadněji než z potravy. Pokud se nikl vyskytuje v potravě, dostal se tam pravděpodobně během přípravy a zpracování suroviny. Požití nikelnatých solí vyvolává nevolnost, zvracení a průjem, tyto příznaky mohou být o to výraznější, pokud je člověk pozře na prázdný žaludek. Nikl často způsobuje alergické reakce ve formě ekzému, který vzniká po přímém kontaktu s niklem (šperky, mince, kovové knoflíky), tomuto se dá vyvarovat omezením styku s předměty obsahující slitiny s niklem. (Food safety, 2003)

2.3.4 Olovo (Pb)

Prvek známý a velmi oblíbený již více než 6000 let, díky jeho měkkosti, kujnosti se využíval například pro výrobu pánví a hrnců. Olovo má tmavě šedou barvu a našlo v minulém století využití jako antidektonační činidlo, v důsledku toho, se jeho obsah v přírodě značně zvýšil, a proto bylo jeho používání zakázáno. Olovnaté sloučeniny se používaly při falšování potravin, aby se zvýraznila barva například kari, červené papriky a cukru. Olovo se využívá v auto bateriích, cínu, jako stabilizátor v plastech, barevný pigment a v lékařství a dalších odvětvích jako ochrana proti radioaktivnímu záření. (Food safety, 2003) (Fenton, 2002)

Tento těžký kov se v potravě může vyskytovat, ale potraviny, které ho obsahují přirozeně jsou jen některé. Většina olova, které je tělem přijato se ukládá v kostře člověka. Zvýšená konzumace olova může vyvolávat nežádoucí účinky, jako bolest hlavy, zácpu, koliku a další. Některé experimenty na myších ukázaly, že olovo může mít negativní efekt na ženskou plodnost, a to až po tři generace. V dnešní době se kontaminace tímto těžkým kovem drasticky snížila, díky zakázání antidektonačních činidel, kdy se v potravě olovo prakticky už nevyskytuje. (Food safety, 2003) (Fenton, 2002)

2.3.5 Arsen (As)

Arsen se v přírodě nevyskytuje ve volně, ale pouze vázán ve sloučeninách, nejvíce ve formě arseničnanu olovnatého (PbAsO_4) a formě oxidů. Kvůli tomu, že sloučeniny jsou bez zápachu a chutě, byly sloučeniny arsenu v minulosti oblíbenými jedy. Nejvíce toxickou formou arsenu je jeho bezbarvý plyn AsH_3 . Organické formy arsenu jsou méně toxické a můžeme je nalézt například v rybách, které díky mikroorganismům tyto formy v sobě za svůj život akumulují. Své využití má arsen hlavně jako

herbicide a pesticidy. Podle druhu soli se liší jeho používání, slouží proti mravencům, šnekům, houbám a dalším. Využívá se také při tavení zlata a mědi. Jako plyn se využívá v polovodičovém průmyslu při výrobě mikroprocesorů. Své zastoupení má i v přírodě, kdy vzniká při srážení rud, a proto se hojně vyskytuje jak v půdě, tak i v menším množství ve vodě, odkud je konzumován člověkem ve formě potravin a již zmíněné vody. (Fenton, 2002) (Rasco, 2005)

Vazba arsenu se sírou je velmi stabilní, při požití arsenu tedy vzniká riziko navázání arsenu na sulfhydrylové skupiny proteinů, to může vést k poškození aktivity enzymů nebo oslabit neporušenost strukturních proteinů. Schopnost arsenu tvořit se sírou velmi silné a stabilní vazby může ohrozit i průběh Krebsova cyklu, a to má fatální následky pro aerobní organismy. Umístění arsenu ve stejné skupině jako fosfor, dává možnost jeho nahrazení v mnoha sloučeninách například při tvorbě ATP. Při otravě arsenem se projevuje nejprve zvracení, krvavý průjem a intenzivní bolesti břicha a další problémy s trávicím traktem. Chronické otravy se projevují ztrátou vlasů, hyperpigmentací a hyperkeratózou. Arsen je podezřelý karcinogen. (Fenton, 2002) (Rasco, 2005)

2.3.6 Hliník (Al)

Hliník je druhý nejrozšířenější prvek na světě, v přírodě ho najdeme vázaně v až dvě stě padesáti různých minerálech, a to například jako korund, andaluzit, kaolinit, nebo nefelin. Nachází se přirozeně také ve vodě a v prachu. Poprvé byl izolován jako kov až v roce 1825. Jedinečná vlastnost hliníku, tvorba folií, mu dala široké využití v potravinářském průmyslu. Nejčastěji se využívá čistě jako folie (alobal), poté jako nádobí volitelného tvaru, které je odolné vůči ohřevu, je hygienicky nezávadné, nezapáchá, je lehké, na vzduchu stálé. Nelze opomenout i hliníkové plechovky na různé druhy nápojů, především piv. (Michna, 2014)

Přirozené formy hliníku jsou v přírodě stabilní sloučeniny, které nejsou pro člověka zdraví škodlivé. Některé rostliny dokáží vstřebávat z půdy větší množství hliníku než ostatní, mezi takové patří například i čajový keř. Samotivé lidské tělo obsahuje až 50 mg hliníku v různých orgánech a tkáních. Pokud je hliník přijímán trávicím traktem ve větším množství, je vyloučen stolicí. To, jestli je hliník jeden z příčin Alzheimerovy choroby a dalších onemocnění je diskutabilní. (Michna, 2014)

2.4 Metody prvkové analýzy

Pro jedno nebo více prvkovou analýzu se využívá atomová spektrometrie v oblasti UV-VIS a RTG. Tyto metody jsou rozděleny podle toho, jestli záření absorbují (AAS) nebo emitují (AES).

Metoda atomové absorpční spektrometrie (AAS) je založena na principu měření úbytku elektromagnetického záření, které je způsobeno absorpcí volnými atomy v plynném stavu. Atomizátory mohou být tvořeny plamenem složeným ze směsi acetylenu se vzduchem nebo oxidem dusným. Dalším používaným atomizátorem prostředí může být odporově vyhřívaná grafitová kyveta. Atomová absorpční spektrometrie je vhodná pro stopovou analýzu kovových prvků. (Černohorský, 1997)

V atomové emisní spektrometrii (OES) dochází k excitaci elektronů v atomech prvků vlivem plynného prostředí s vysokou teplotou, při deexcitaci je emitováno záření o specifické vlnové délce pro každý prvek. Detekuje se také intenzita záření, která je přímo úměrná koncentraci prvku ve vzorku. Budícím zdrojem může být plamen složený ze směsi acetylenu se vzduchem nebo oxidem dusným, propan-butan a vzduch, nebo zemní plyn se vzduchem. Další možnost budícího zdroje je vysokoteplotní buzení pomocí plazmatu, který je buď indukčně vázán (ICP), nebo ve formě přímého proudu (DCP). Metoda OES má díky své možnosti multielementární analýzy široké uplatnění a patří mezi nejpoužívanější z těchto metod. (Černohorský, 1997) (Hill, 2007)

Všechny zmíněné metody až na speciální případy vyžadují, aby analyzovaný vzorek byl převeden do kapalného skupenství. Často je tedy nutné provést rozklad vzorku. Rozklad vzorku se provádí buď na suché cestě, kdy se při teplotách 450–550 °C zpopelní, nebo na mokré cestě. Rozklad na suché cestě není vhodný pro stanovení těkavých látek, proto je častěji používán rozklad na mokré cestě. Rozklad na mokré cestě můžeme provádět za atmosférického tlaku při otevřených nádobách, nebo v uzavřených nádobách při zvýšeném tlaku, při těchto rozkladech používáme nejčastěji směs kyseliny dusičné, kyseliny sírové a dalších směsí. Pokud použijeme rozklad na mokré cestě při zvýšeném tlaku, nejčastěji provádíme rozklad v mikrovlnné peci, v teflonových nádobách, zde musíme dbát na zajištění odchodu tvořících se vodních par, oxidu dusíku a oxidu uhličitého pomocí tlakových pojistek. Oproti rozkladu na suché cestě má metoda výhody v nižší možnosti kontaminace a ztrátách, časové úspoře a malé spotřebě činidel, je však nutné, aby vzorek byl homogenní, výsledný roztok je rozpuštěn v kyselině dusičné, to může způsobit interference. (Optická emisní spektrometrie v indukčně vázaném plazmatu a vysokoteplotních plamenech, 1992) (Plško, 1994) (Hill, 2007)

2.4.1 Metoda ICP-OES

Optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES) patří v dnešní době mezi jednu z nejpoužívanějších analytických metod v oblasti elementární analýzy. Popularita této metody spočívá v její schopnosti přesné, opakovatelné a spolehlivé multielementární analýzy, která není časově náročná. Touto metodou jsme schopni stanovit přes sedmdesát přírodních prvků. Mezi ty, které touto metodou stanovit nemůžeme, patří vodík, kyslík, fluor a plyny, které jsou netečné. Pro určitou skupinu prvků, je tato analytická metoda nevhodná, jedná se o plyny, které jsou součástí pracovního plynu a izotopy radioaktivních prvků s krátkým poločasem rozpadu.

Princip této analytické metody spočívá v převedení zkapalněného vzorku na aerosol, pomocí zmlžovacího plynu (argon), který je dále veden do středu hořáku. V hořáku je pomocí vysokofrekvenčního střídavého magnetického pole udržované plazma, jehož teplota může v určitých místech dosahovat od 5 000 až do 10 000 K. Plazma vzniká výbojem inertního plynu (argon, nebo jeho příměs s dusíkem) za atmosférického tlaku v plazmové hlavici, která je zároveň chlazená závití s vodou. Vlivem vysoké teploty se rozruší vazby molekul a díky velké energii se vzniklé prvky dostanou do vyšších energetických hladin (excitují). Tento stav je velmi nestabilní a skoro ihned se

prvky vracejí na své původní, nižší a stálé hladiny, díky uvolněné energii však emitují světlo. Emitované světlo má specifickou vlnovou délku, která je určena vzdálenosti základní a vyšší energetické hladiny. Díky vedení světla na optický systém, který rozdělí světlo podle jednotlivých vlnových délek a následně zachycení na detektoru, který ho převede na elektrický signál můžeme podle intenzity tohoto signálu, určit koncentraci prvku v analyzovaném roztoku. (Optická emisní spektrometrie v indukčně vázaném plazmatu a vysokoteplotních plamenech, 1992) (Hill, 2007)

2.4.1.1 Zavedení vzorku do plazmatu

Zavádění vzorku do plazmatu se používá právě u ICP-OES, ale i ICP-MS a jedná se o důležitý krok, který může značně ovlivnit naměřené výsledky. Pro zmlžení kapalných vzorků se používají pneumatické zmlžovače, které využívají kinetickou energii pracovního plynu, kapalina je pak vedena k ústí např. peristaltickým čerpadlem. Dalším typem zmlžovače je ultrazvukový, který tvoří aerosol pomocí akustické energie, vysokotlaká tryska (jet impact) využívá působení kinetické energie kapaliny, která vytéká vysokou rychlostí z kapiláry, proti jejímu povrchovému napětí. Tepelný zmlžovač (termo sprej) funguje na principu nárazového zahřátí roztoku nad bod varu v křemenné kapiláře o malých rozměrech výtokového ústí, to se zužuje a dochází tak, ke zmenšování středního průměru částic vznikajícího aerosolu.

Aerosol musí mít minimální paměťový efekt, musí se tvořit nezávisle na vlastnostech vzorku, mít dobrou účinnost transportu, identické složení aerosolu a vzorku a převládající zastoupení jemných částic. Ztrátou aerosolu jsou negativně ovlivněny výsledky. Za ztrátu aerosolu můžou hlavně gravitační ztráty, odstředivé ztráty, ztráty nárazem a další. (Optická emisní spektrometrie v indukčně vázaném plazmatu a vysokoteplotních plamenech, 1992) (Hill, 2007) (Plško, 1994) (Černohorský, & Jandera, 1997)

2.4.1.2 Indukčně vázané plazma (ICP)

Plazma je definováno jako ionizovaný, makroskopicky neutrální stav, kde volné elektrony a ionty vykazují kolektivní chování, za které se považují pohyby částic, jež závisí na lokálních podmínkách, ale také na stavu plazmatu ve vzdálenějších podmínkách. Abychom mohli plyn nazvat plazmou, musí splňovat i podmínku kvazineutality, kterou lze vyjádřit pomocí Debeyovy délky, ta musí být menší než rozměry výboje. V Debeyově sféře musí být počet částic větší než jedna a součin oscilace plazmatu a střední doby mezi srážkami elektronů s neutrálními atomy také větší než jedna.

V optické emisní spektrometrii se často používá indukčně vázané plazma (ICP), kdy plazma je udržováno elektromagnetickým zdrojem energie z vnějšího prostředí. Při ionizaci jiskrovým výbojem se vytvoří elektrony, ty jsou urychlovány elektromagnetickým polem a elektrony, které dosáhly dostatečné kinetické energie vyvolávají lavinovou ionizaci pracovního plynu (Ar, He), takto dojde k vytvoření výboje, tomu je dodávána energie vířivými proudy, které jsou indukovány v povrchové vrstvě plazmatu. Plazma je většinou tvořeno z monoatomických vzácných plynů, ty mají jednoduchá

spektra a nevytvářejí stabilní sloučeniny. Díky jejich vysoké ionizační energii může být stanovena většina prvků. Z hlediska fyzikálních vlastností i ceny se nejčastěji volí argon, aby se jeho vlastnosti ještě zlepšily vytváří se jeho směs s dusíkem. (Černohorský, & Jandera, 1997) (Plško, 1994)(Optická emisní spektrometrie v indukčně vázaném plazmatu a vysokoteplotních plamenech, 1992) (Hill, 2007)

2.4.1.3 Optický systém

Při deexcitaci dochází k emisi záření, které můžeme pomocí optických systémů rozdělit podle vlnové délky a přivést na detektor. Vlnová délka stanovovaných prvků musí být v rozsahu optického systému a detektoru, bez spektrálních interferencí. Optický systém má vždy vstupní a výstupní štěrbinu, difrakční mřížku nebo hranol a pomocné prvky k izolaci a fokusaci jednotlivých paprsků. Difrakční mřížka je zrcadlo ze skla nebo oceli s rovnoběžnými drážkami nebo vrypy vyrytými na povrchu v určité vzdálenosti od sebe a má za úkol rozkládat světelné záření o různých úhlech odrazu.

Monochromátory propouští pouze jeden paprsek světla o určité vlnové délce, pokud je nutné detekovat více paprsků, musí být změněn úhel odrazu na difrakční mřížce. Polychromátory mají kruhovou konstrukci s výstupními štěrbinami pro každou specifickou vlnovou délku procházejícího paprsku a vlastní detektor. (Optická emisní spektrometrie v indukčně vázaném plazmatu a vysokoteplotních plamenech, 1992) (Plško, 1994) (Hill, 2007)

2.4.1.4 Detekce signálu

Detektory převádí emitované záření na elektrický signál, který zpracuje vhodný software. Detektory se rozdělují na vnější (fotokatody a fotonásobiče), zde dojde při dopadu záření k emisi elektronů a vnitřní (diodová pole a plošné detektory) zpracování fotoelektrického jevu, kde po dopadu záření dojde ke zvýšení hustoty nosičů náboje v polovodičích a zvýší se jeho vodivost. (Optická emisní spektrometrie v indukčně vázaném plazmatu a vysokoteplotních plamenech, 1992) (Plško, 1994) (Hill, 2007)

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Koncentrace vybraných kovů byly stanoveny jak ve výluzích, tak v čaji, kdy pod označením čaj myslíme pevný podíl, tudíž čajové listy. Pevný podíl bylo třeba rozložit, a to pomocí rozkladu na mokré cestě za zvýšeného tlaku, na kapalnou fázi. Takto připravené vzorky byly zanalyzovány pomocí analytické metody ICP-OES.

3.1 Použité přístroje

Optický emisní spektrometr s indukčně vázanou plazmou Ultima 2 HORIBA Scientific (Tabulka 1), mikrovlnná pec Milestone Mega 1200, analytické váhy.

Tabulka 1 *Technická specifikace přístroje ICP-OES*

Typ přístroje	HORIBA Scientific Ultima 2
Nosný plyn	mikro: 0,22 l/min; makro: 0,72 l/min
Plazmový plyn	14,5 l/min
Stínící plyn	makro: 0,6 l/min; mikro: 0,2 l/min
Pomocný plyn	0,29 l/min
Rozprašovač	0,82 ml/min; 3,02 bar
Příkon do plazmy	1200 W
Optický systém	fotonásobič

Tabulka 2 *Parametry ICP-OES analýzy sledovaných prvků*

Prvek	Vlnová délka (nm)	Limit detekce (mg/g)	Limit detekce (mg/l)
As	193,695	0,002	0,02
Al	396,152	0,002	0,02
Ca	317,933	0,001	0,01
Cd	214,438	0,002	0,02
Cr	205,552	0,002	0,02
Co	228,616	0,002	0,02
Cu	327,396	0,002	0,02

Tabulka 2 pokračování

Prvek	Vlnová délka (nm)	Limit detekce (mg/g)	Limit detekce (mg/l)
Fe	259,940	0,002	0,02
K	766,490	0,020	0,20
Mg	285,213	0,001	0,01
Mn	257,610	0,002	0,02
Na	588,995	0,001	0,01
Ni	221,647	0,002	0,02
P	214,914	0,010	0,10
Pb	220,350	0,002	0,02
Zn	206,191	0,002	0,02

3.2 Použité chemikálie

Deionizovaná destilovaná voda, peroxid vodíku 30 %, kyselina dusičná pro stopovou analýzu 67 %, standardní roztoky všech stanovovaných prvků (Tabulka 3).

Tabulka 3 Standardní roztoky a jejich koncentrace

Zkratka prvku	Koncentrace (g/l)
Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn	1
Ca, K, Mg, Na, P	10

3.3 Postupy přípravy vzorků

3.3.1 Čajový výluh

Pro přípravu čajových výluhů bylo vždy naváženo 3 g příslušného čaje a převedeno do kádinky. K varu jsme přivedli 200 ml deionizované destilované vody a přilili do kádinky. Zelené a černé čaje se nechaly luhovat přesně čtyři minuty a poté byl bez pevného podílu přelit do plastových zkumavek o objemu 15 ml. Bylinné čaje byly připraveny stejným způsobem, lišily se pouze dobou luhování, která byla stanovena na deset minut. Doba byla upravena podle průměrné doby luhování doporučené výrobcí. Aby nedošlo k zanesení přístroje ICP-OES byla provedena filtrace přes filtry o velikosti pórů 0,045 μm. Takto připravené vzorky byly uchovány v chladu, do té doby, než byly analyzovány, aby nedošlo k mikrobiální kontaminaci.

Kalibrační roztoky byly připraveny zvlášť pro mikro a makro prvky. Pro mikro prvky byly připraveny kalibrační roztoky o koncentraci 0,1; 0,5; 1 a 5 mg/l. Kalibrační řada pro makro prvky byla sestavena z roztoků o koncentraci 10; 25; 50 a 100 mg/l. Oba roztoky byly pipetovány do odměrných baněk o objemu 25 ml a doplněny po rysku vodou.

3.3.2 Mikrovlnný rozklad

Nejprve bylo naváženo 0,25 g vzorku čajových listů s přesností 0,0001 g na analytických vahách a množství bylo převedeno do reakčních nádob z teflonu (PTFE). Dále bylo pipetováno 5 ml kyseliny dusičné o koncentraci 67 % a 2 ml peroxidu vodíku o koncentraci 30 %, obsah byl mírně zamíchán, tak aby na stěnách nádoby nic neulpělo a nádoba byla uzavřena víkem. Jedna série mikrovlnného rozkladu pojmul celkově čtyři reakční nádoby, ty byly ustaveny a zajištěny momentovým klíčem do plastové konstrukce tak, aby bezpečnostní ventil byl vždy směrem ven, mimo konstrukci. Poté se celá konstrukce vložila do mikrovlnné pece. Mikrovlnný rozklad se provedl pomocí programu č. 5 (Tabulka 4). Po ukončení programu rozkladu se konstrukce vyjmula z pece a jednotlivé nádobky se znova pomocí momentového klíče odjistily z plastové konstrukce. Malým množstvím deionizované destilované vody se smyly zkondenzované páry z víka a celý objem byl kvantitativně převeden do odměrných baněk o objemu 25 ml. Baňky byly doplněny vodou po rysku, promíchány a přefiltrovány pomocí filtru o velikosti pórů 0,045 μm do plastových zkumavek o objemu 15 ml.

Po každé sérii rozkladu bylo do prázdných reakčních nádob pipetováno 5 ml kyseliny dusičné o koncentraci 67 %, nádoby byly uzavřeny momentovým klíčem a vloženy do plastové konstrukce tak, aby pojistný ventil byl vždy směrem ven, mimo konstrukci. Po vložení do mikrovlnné pece byl spuštěn program č. 2, který sloužil k pročištění reakčních nádob (Tabulka 5). Po ukončení čištění byly nádoby vymyty deionizovanou destilovanou vodou a důkladně usušeny.

Kalibrační roztoky byly připraveny společně pro mikro i makro prvky pomocí standardních roztoků jednotlivých stanovovaných prvků. Koncentrace kalibračních roztoků byly 0,5; 1; 5; 10; 20 a 50 mg/l. Roztoky byly pipetovány odměrné baňky o objemu 50 ml, k připraveným roztokům bylo přidáno 5 ml kyseliny dusičné o koncentraci 67 % a 2 ml peroxidu vodíku o koncentraci 30 %, poté byla odměrná baňka doplněna vodou.

Tabulka 4 *Nastavení mikrovlnné pece (rozkladný program č.5)*

Čas (minuty)	Výkon (Watt)
2	250
2	0
2	250
5	500
5	0

Tabulka 5 *Nastavení mikrovlnné pece (rozkladný program č.2)*

Čas (minuty)	Výkon (Watt)
5	250
5	0

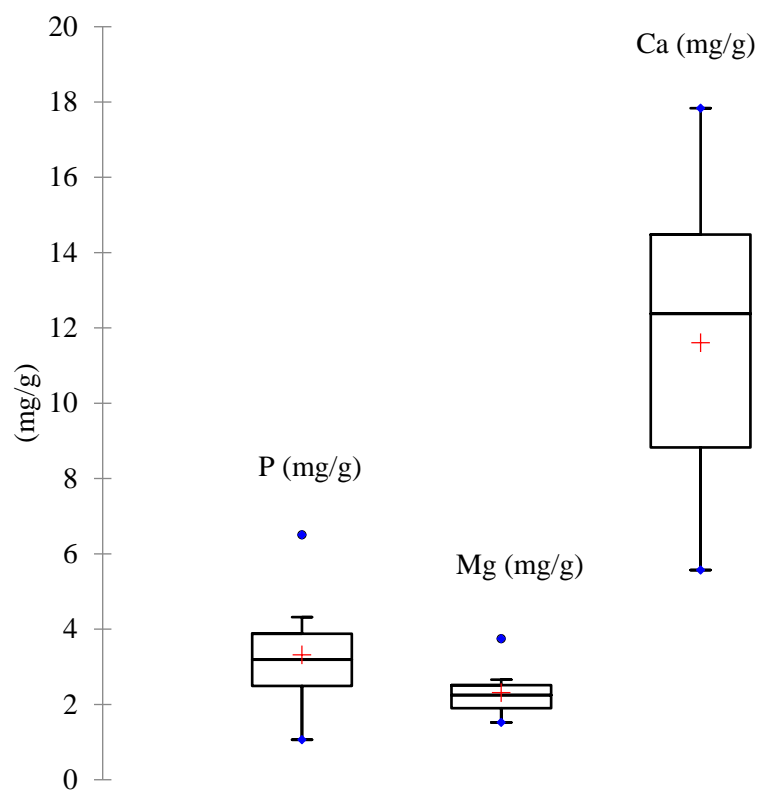
4 VÝSLEDKY

Metodou ICP-OES byla provedena prvková analýza celkem 35 vzorků sypaných čajů. Jednalo se o jedenáct různých typů bylinných čajů z heřmánku, meduňky, šalvěže, ostropestřce a dalších jednotlivých druhů i směsí. Dvanáct černých čajů zakoupených jak v České republice, tak v Ugandě, Taiwanu, Vietnamu a Ázerbájdžánu a dvanáct zelených čajů zakoupených jak v České republice, tak na Taiwanu a ve Vietnamu. Byla zjištěna jak koncentrace tzv. mikro prvků, mezi které patří arzen, chrom, zinek, kadmium, olovo, nikl, kobalt, mangan, železo, měď a hliník, tak koncentrace tzv. makro prvků (fosfor, mangan, vápník, sodík a draslík).

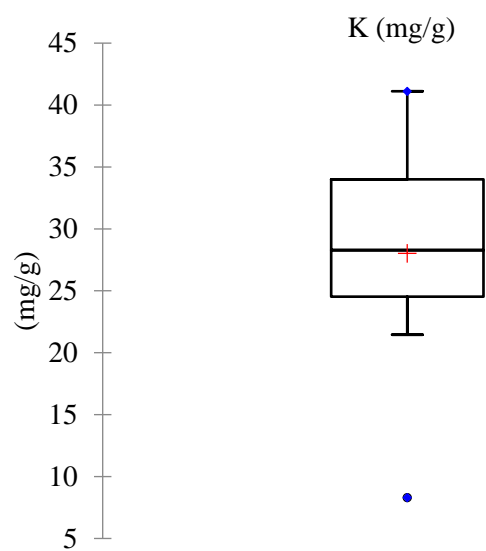
4.1 Čaje

Souhrnným názvem čaje definujeme čajové listy a různé části bylin, které byly mineralizovány a poté analyzovány. Získané koncentrace stanovovaných prvků mohou být zejména pro bylinné směsi zkresleny vlivem nerovnoměrného výběru všech bylin obsažených v těchto vzorcích.

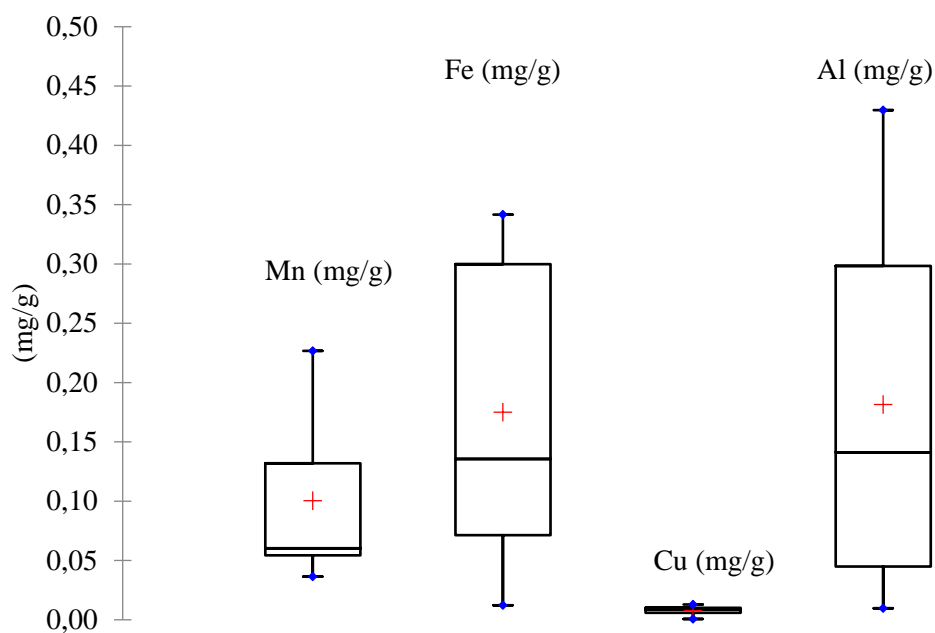
U bylinných čajů byly detekovány všechny makro prvky, fosfor v rozmezí koncentrací 1,061–6,506 mg/g, hořčík 1,521–3,747 mg/g, vápník 5,568–17,835 mg/g (Obrázek 1), draslík 8,300–41,115 mg/g (Obrázek 2) a sodík ND–3,422 mg/g. Z mikro prvků nebyl detekován arzen, kadmium, olovo a nikl, koncentrace chromu byla naměřena v rozmezích 0,004–0,005 mg/g, zinku 0,010–0,048 mg/g, kobaltu 0,002–0,003 mg/g, manganu 0,036–0,226 mg/g, železa 0,012–0,341 mg/g, mědi 0,001–0,013 mg/g a hliníku 0,009–0,429 mg/g (Obrázek 3).



Obrázek 1 Koncentrace fosforu, hořčíku a vápníku v bylinných čajích

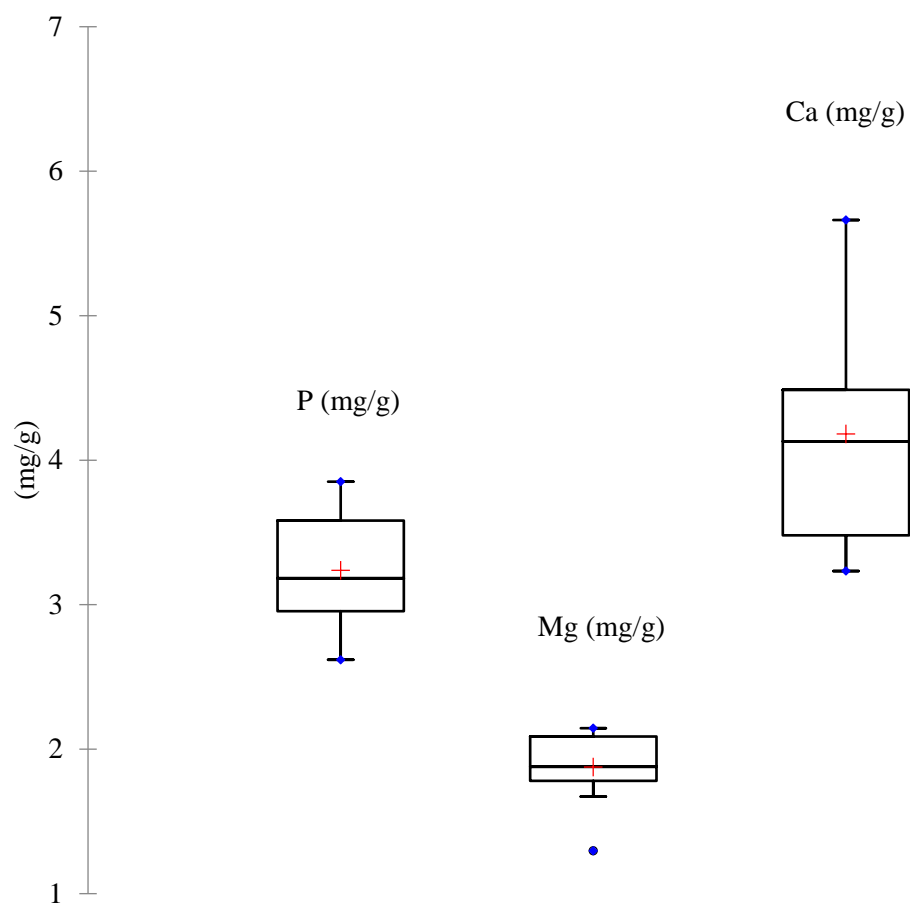


Obrázek 2 Koncentrace draslíku v bylinných čajích

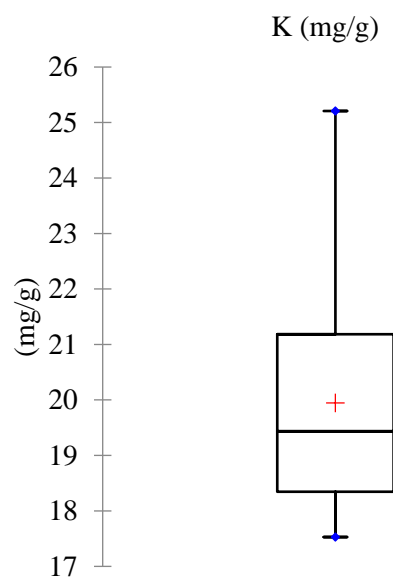


Obrázek 3 Koncentrace manganu, železa, mědi a hliníku v bylinných čajích

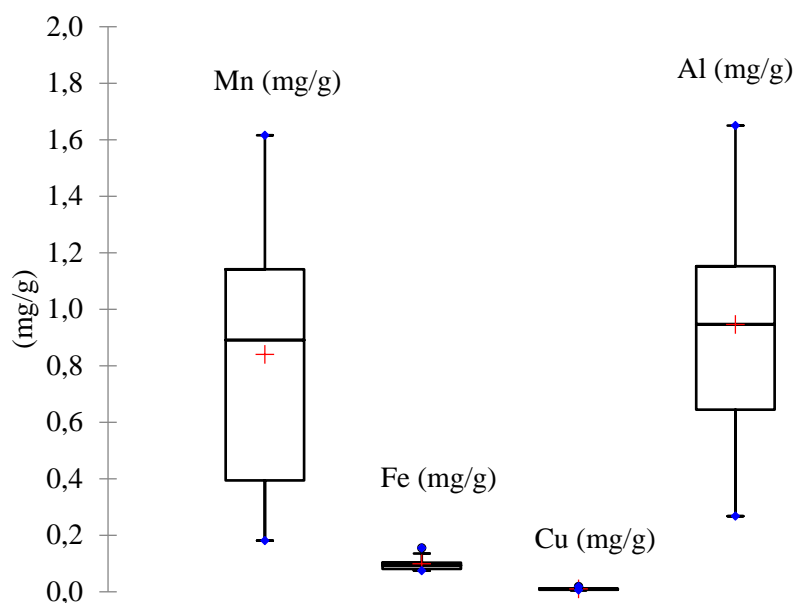
U černých čajů byly rovněž detekovány všechny makro prvky, fosfor v rozmezí 2,618–3,851 mg/g, hořčík 1,296–2,145 mg/g, vápník 3,232–5,662 mg/g (Obrázek 4), draslík 17,528–25,207 mg/g (Obrázek 5) a sodík 0,001–1,843 mg/g. Z mikro prvků nebyl detekován chrom, kadmium, olovo a kobalt, koncentrace arzenu byla naměřena v rozmezích 0,012–0,014 mg/g, zinku 0,011–0,153 mg/g, niklu 0,002–0,009 mg/g, manganu 0,170–0,841 mg/g, železa 0,042–0,309 mg/g, mědi 0,004–0,016 mg/g a hliníku 0,041–1,190 mg/g (Obrázek 6).



Obrázek 4 Koncentrace fosforu, hořčíku a vápníku v černých čajích

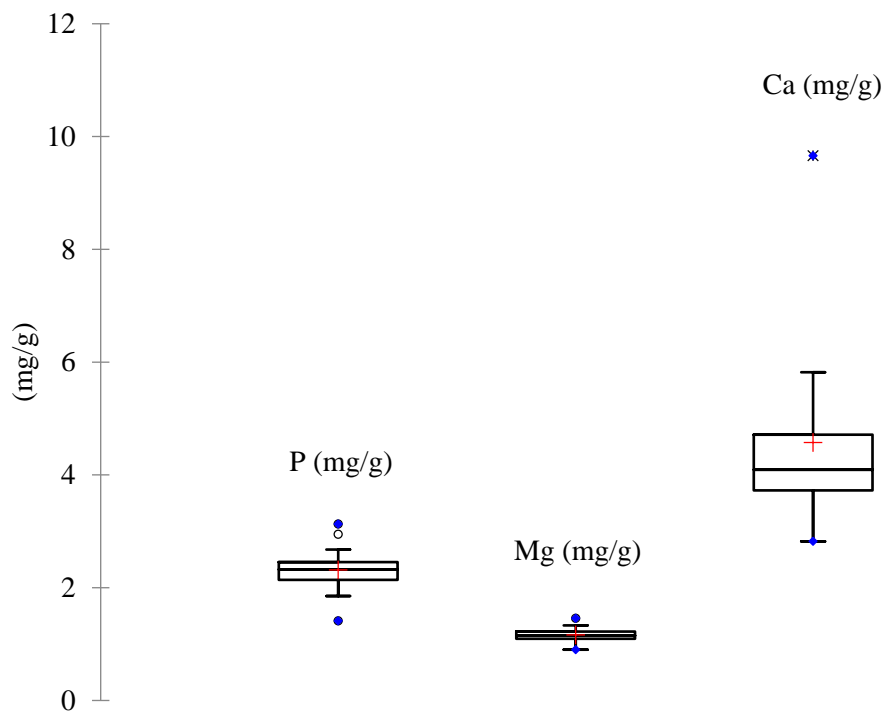


Obrázek 5 Koncentrace draslíku v černých čajích

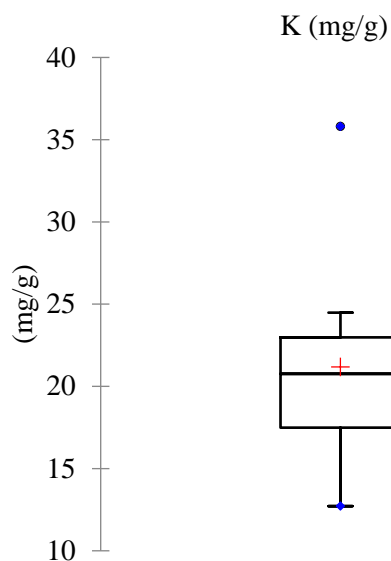


Obrázek 6 Koncentrace manganu, železa, mědi a hliníku v černých čajích

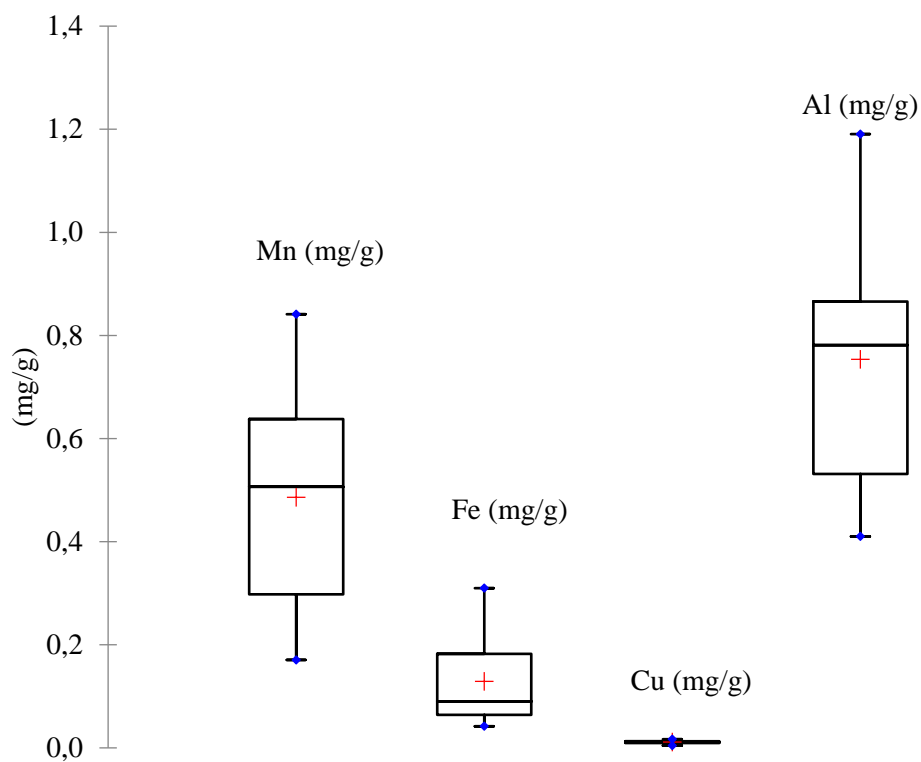
U zelených čajů nebyl z makro prvků detekován sodík, koncentrace fosforu byla naměřena v rozmezí 1,41–3,128 mg/g, hořčíku 0,900–1,457 mg/g, vápníku 2,821–9,660 mg/g (Obrázek 7) a draslíku 12,716–35,806 mg/g (Obrázek 8). Z mikro prvků nebyl detekován arzen, olovo a kadmium. Koncentrace chromu byla naměřena v rozmezích 0,005–0,005 mg/g, zinku 0,019–0,031 mg/g, niklu 0,001–0,007 mg/g, kobaltu 0,002–0,003 mg/g, manganu 0,181–1,616 mg/g, železa 0,074–1,553 mg/g, mědi 0,006–0,018 mg/g a hliníku 0,267–1,650 mg/g (Obrázek 9).



Obrázek 7 Koncentrace fosforu, hořčíku a vápníku v zelených čajích



Obrázek 8 Koncentrace draslíku v zelených čajích



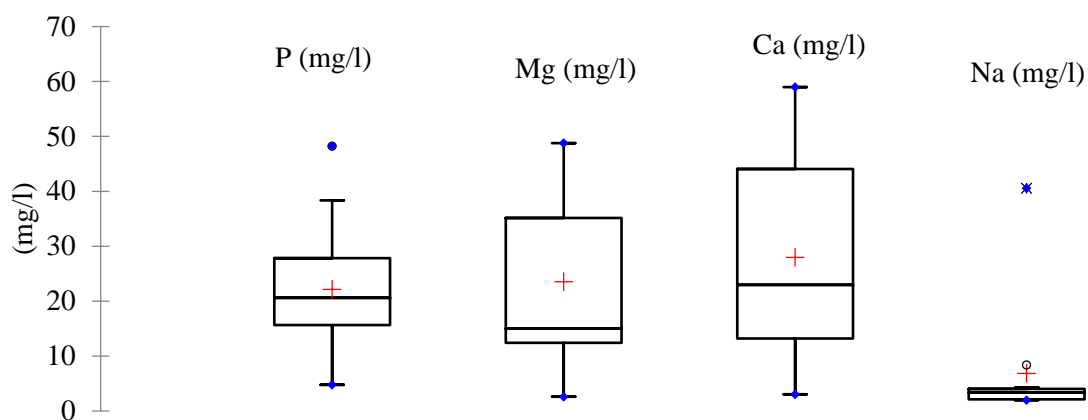
Obrázek 9 Koncentrace manganu, železa, mědi a hliníku v zelených čajích

4.2 Výluhy

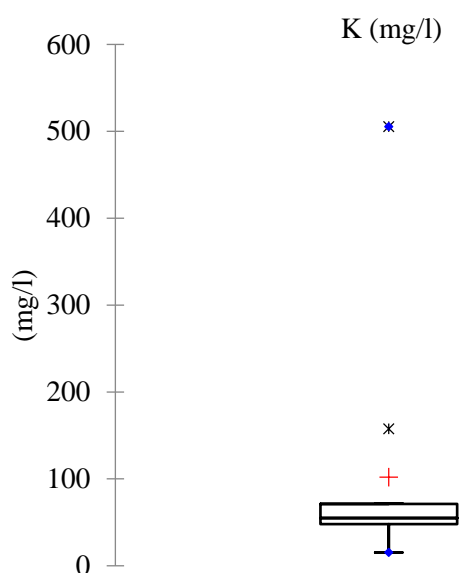
V této práci je za výluh považován nálev připravený z čajových listů, či bylin, zalitý horkou vodou. Získané koncentrace se vztahují pouze na námi provedený způsob přípravy výluhů.

U výluhů z bylinných čajů byly naměřeny všechny vybrané makro prvky. Koncentrace fosforu se pohybovala v rozmezí koncentrací 4,776–48,224 mg/l, hořčíku 2,609–48,775 mg/l, vápníku

3,049–58,978 mg/l, sodíku 1,990–40,559 mg/l (Obrázek 10) a draslíku 76,433–2 526,4 mg/l (Obrázek 11). Žádný z mikro prvků nebyl detekován.

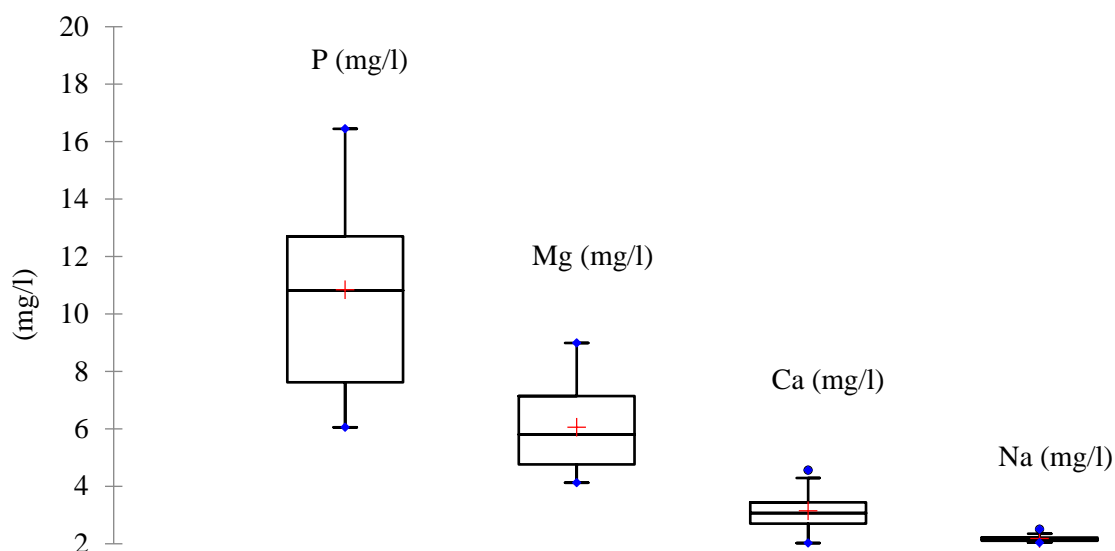


Obrázek 10 Koncentrace fosforu, hořčíku, vápníku a sodíku ve výluzích z bylinných čajů

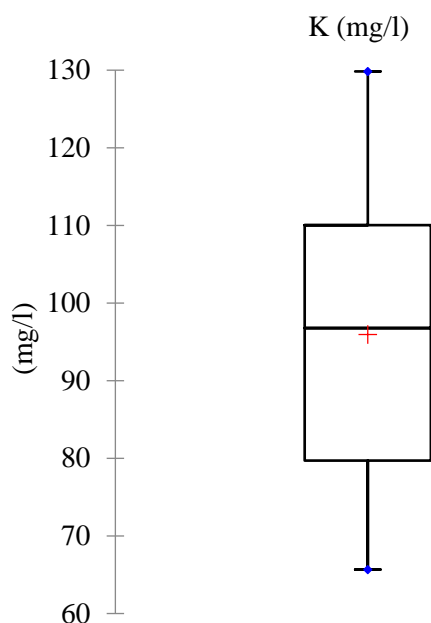


Obrázek 11 Koncentrace draslíku ve výluzích z bylinných čajů

U výluhů z černých čajů byly naměřeny všechny makro prvky, fosfor o koncentraci 6,055–16,445 mg/l, hořčík 4,125–8,990 mg/l, vápník 2,025–4,560 mg/l, sodík 2,040–2,505 mg/l (Obrázek 12) a draslík 65,665–129,840 mg/l (Obrázek 13). Z mikro prvků nebyl detekován arsen, chrom, zinek, kadmium, olovo, nikl, kobalt, železo a měď. Koncentrace manganu byla 0,085–0,965 mg/l a hliníku 0,075–1,505 mg/l.

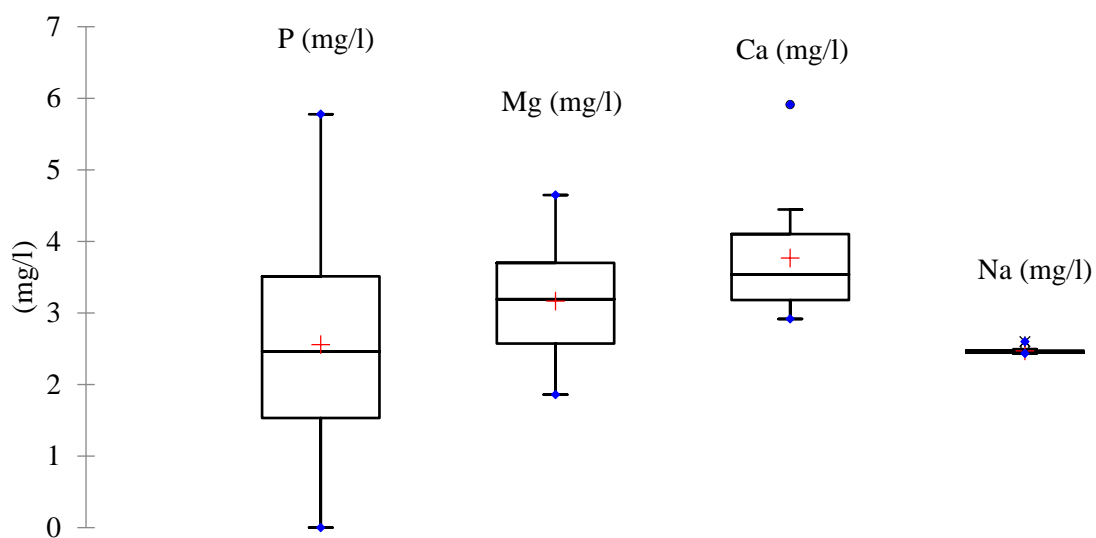


Obrázek 12 Koncentrace fosforu, hořčíku, vápníku a sodíku ve vyluzích z černého čaje

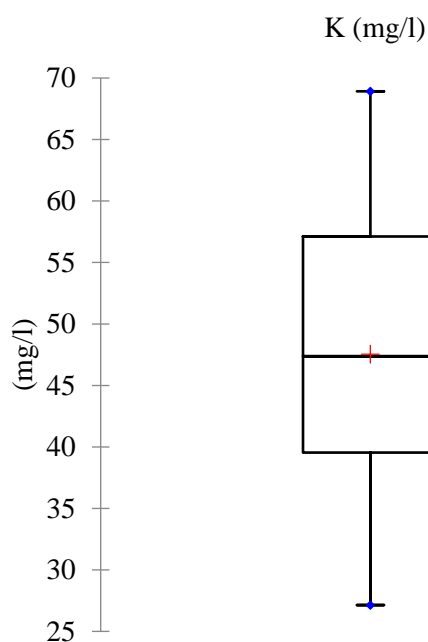


Obrázek 13 Koncentrace draslíku ve vyluzích z černého čaje

U výluhů ze zelených čajů byly naměřeny všechny makro prvky, fosfor o koncentraci ND–5,776 mg/l, hořčík 1,858–4,647 mg/l, vápník 2,916–5,911 mg/l, sodík 2,433–2,600 mg/l (Obrázek 14) a draslík 27,141–68,921 mg/l (Obrázek 15). Z mikro prvků nebyl detekován chrom, zinek, kadmium, olovo a nikl. Byl detekován arzen o koncentraci 0,051–0,068 mg/l, kobalt 0,031–0,036 mg/l, mangan 0,127–4,158 mg/l, železo 0,036–0,102 mg/l, měď 0,028–0,055 mg/l a hliník 0,374–6,534 mg/l.

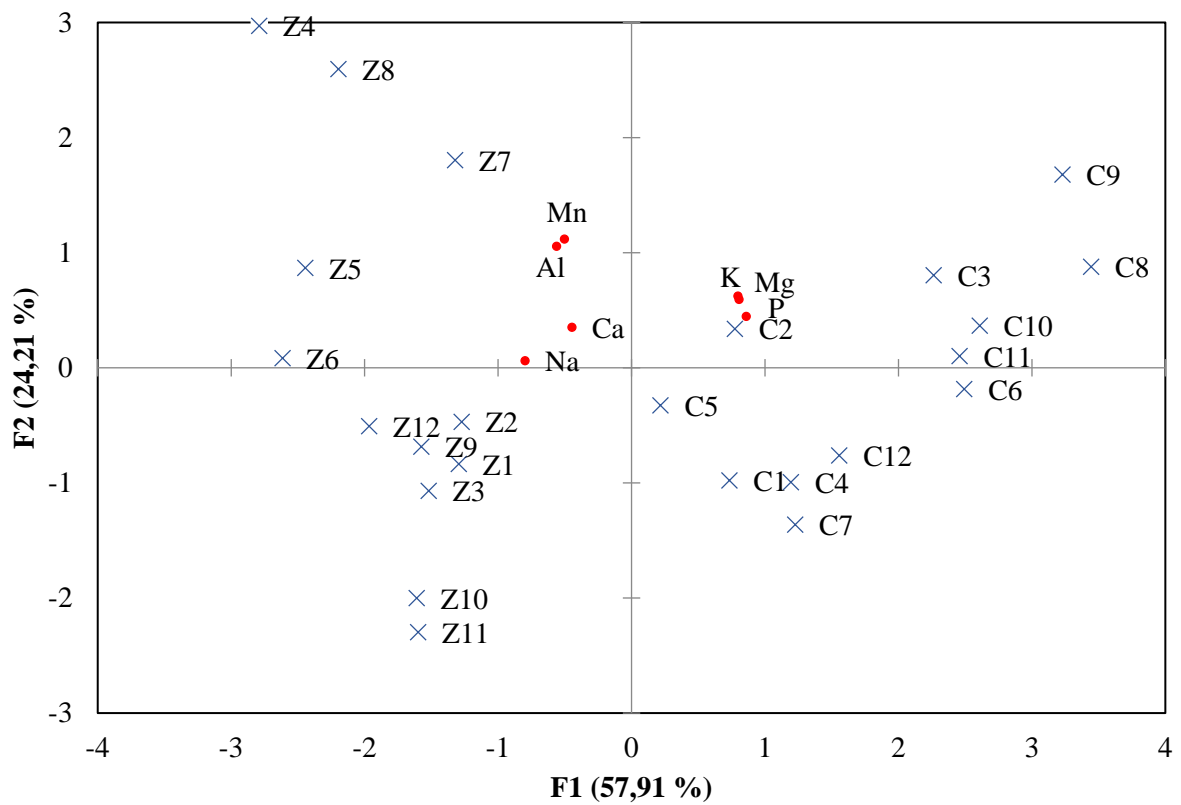


Obrázek 14 Koncentrace fosforu, hořčíku, vápníku a sodíku ve výluzích ze zeleného čaje



Obrázek 15 Koncentrace draslíku ve výluzích ze zeleného čaje

Naměřené koncentrace fosforu, hořčíku, vápníku, sodíku, draslíku, manganu a hliníku u výluhů z černých a zelených čajů byly dále použity pro provedení ANOVA analýzy a PCA analýzy (Obrázek 16). Z analyzovaných dat lze vidět, že čaje zelené a černé se rozdělily podle kvadrantů, zelené do prvního a třetího a černé do druhého a čtvrtého, na základě odlišných koncentrací zkoumaných prvků.



Obrázek 16 Statisticky analyzované zelené a černé čaje podle obsahu daných prvků

5 DISKUZE

Podle nařízení Komise (ES) č. 1881/2006 ze dne 19. prosince 2006, jsou stanoveny limity některých kontaminujících látek. Z prvků sledovaných v této práci to jsou kadmium a olovo. Tento dokument neobsahuje přesné limity pro čajové výluhy ani pro čaj, pouze pro čerstvé byliny, které byly použity ke srovnání hodnot. Limit pro obsah kadmia v čerstvých bylinách je ustanoven na maximální hodnotu 0,05 mg/kg a obsah olova na maximálně 0,10 mg/kg. Jelikož nebylo v žádném z čajů kadmium detekováno a koncentrace olova byla u všech vzorků čajů pod limitem detekce, můžeme považovat z tohoto hlediska vzorky čajů za zdravotně nezávadné. (Nařízení Komise (ES) č. 1881/2006 ze dne 19. prosince 2006, b.r.)

5.1 Čaje

Vzorky bylinných čajů byly z hlediska složení a původu velmi odlišné, proto jsou koncentrace prvků velmi zkreslující a v porovnání s dostupnou literaturou se vyskytují značné odchylky. Koncentrace makro prvků se zpravidla tolik nelišila, jako koncentrace některých mikro prvků. Tato skutečnost může být způsobena nejen odlišným složením vzorků, ale také například jiným rokem a místem sklizně, způsobem, jakým byly čaje zpracovávány a baleny. Porovnání naměřených výsledků s údaji dostupnými v literatuře je zpracováno v Tabulce 6.

Tabulka 6 Porovnání koncentrací vybraných prvků v bylinných čajích

Prvek	koncentrace literatura (mg/kg)	koncentrace BP (mg/kg)
Ca	4 400–13 300 ^a	5 569–17 836
K	7 600–14 800 ^a	8 300–41 115
Mn	57–1 405 ^b	36,4–226
Fe	139–995 ^b	12,2–341
Cu	3,1–14,8 ^b	0,7–12,9
Al	153–990 ^b	9,7–429
Cr	1,34–3,31 ^b	4,9–5,8
Zn	15–81 ^b	11–48
Pb	0,15–0,71 ^b	7,3–9,9

^a(Dalipi, 2018); ^b(Milani, 2019)

Koncentrace prvků v černých čajích byla také porovnána s údaji dostupnými v literatuře. (Tabulka 7). Koncentrace makroprvků naměřená v této práci je srovnatelná s údaji v literatuře, mikro prvky se opět liší. Rozdíly mohly vzniknout odlišnými vzorky, jejich původem, rokem sklizně, způsobem, jakým byly zpracovány a baleny, či použitím odlišné metody ke stanovení koncentrací daných prvků.

Tabulka 7 Porovnání koncentrací vybraných prvků v černých čajích

Prvek	koncentrace literatura (mg/kg)	koncentrace BP (mg/kg)
Ca	220–4 490 ^d	3 232–5 662
K	18 450–30 840 ^d	17 528–25 207
P	1 980–4 900 ^d	2 618–3 851
Mg	1 640–10 520 ^d	1 296–2 145
Na	104–7 280 ^d	0,97–1 842
Mn	0,28–7 934 ^c	170–841
Fe	0,28–13 040 ^c	41,9–309
Cu	BDL–602,5 ^c	4,4–16,8
Al	438–1240 ^e	41–1 190
Zn	0,08–1000 ^c	11,7–153
Pb	BDL–3,2 ^d	14,6–16,4
Ni	1–10,1 ^d	1,8–9,6

^c(Karak, 2015); ^d(Brzezicha-Cirocka, 2017); ^e(Dambiec, 2013)

Při porovnání koncentrací prvků v zelených čajích naměřených v této práci s literaturou byla zjištěna podobnost hodnot pro makro prvky, v případě mikro prvků se hodnoty lišily (Tabulka 8). Koncentrace mikro prvků se mohly lišit ze stejného důvodu jako u černých čajů, či bylinných čajů.

Tabulka 8 Porovnání koncentrací vybraných prvků v zelených čajích

Prvek	koncentrace literatura (mg/kg)	koncentrace BP (mg/kg)
Ca	1 550–4 450 ^f	2 821–9 660
K	15 030–42 810 ^f	12 716–35 806
P	1 550–4 450 ^f	1 412–3 128
Mg	1 550–3 260 ^f	900–1 457
Mn	248–1 600 ^f	181–1 615
Fe	128–601 ^f	74–1 553
Cu	12,3–34,1 ^f	6,0–18,4
Zn	15,2–95,8 ^f	18,9–31,5
Ni	2,1–12,2 ^f	0,5–7
Co	0,1–0,6 ^f	2,6–3,2
Cr	0,3–3,4 ^f	5,0–5,7

^f (Brzezicha-Cirocka, 2016)

5.2 Výluhy

Většina rizikových prvků, která byla detekována v čajích, již nebyla detekována ve výluzích. Zpravidla se do výluhů extrahovalo pouze méně než 0,1 % původního množství prvků v čaji a všechny vzorky výluhu tudíž nepředstavují žádné zdravotní riziko. Z hlediska minerálních látek jsou čajové výluhy i přes nižší hodnoty koncentrací než u čajů, dobrým zdrojem pro pokrytí DDD.

U bylinných výluhů nebyly detekovány žádné mikro prvky. Některé koncentrace makro prvků byly porovnány s literaturou. Literatura uvádí až o řád vyšší koncentrace makro prvků ve výluzích bylinných čajů v porovnání s údaji získanými v této bakalářské práci. Tato skutečnost mohla být způsobena odlišnými bylinami, ze kterých byly výluhy připraveny. Naměřené koncentrace mohly být ovlivněny i dobou, po kterou byl výluh prováděn, poměrem hmotnosti čaje a objemu vody použitých k přípravě čaje, případně použitím jiné analytické techniky (Tabulka 9).

Tabulka 9 Porovnání koncentrací vybraných prvků ve výluzích z bylinných čajů

Prvek	koncentrace literatura (mg/l)	koncentrace BP (mg/l)
Ca	2 900–5 700 ^a	3,049–58,978
K	6 210–12 400 ^a	76,4–2 526

^a (Dalípi, 2018)

Minerální látky v bylinných výluzích tvoří nezanedbatelný zdroj pro pokrytí DDD. Naměřené koncentrace byly přepočteny na dávku jednoho šálku, přibližně 200 ml (Tabulka 10).

Tabulka 10 Přepočet naměřené koncentrace na DDD ve výluzích z bylinných čajů

Prvek	DDD* (mg/den/osoba)		koncentrace (mg/200 ml)	% z DDD	
	muž	žena		muž	žena
Ca	1000	1000	0,398–8,112	0,04–0,81	0,04–0,81
K	2000	2000	15,28–505,2	0,76–25,26	0,76–25,26
Na	550	550	0,609–11,796	0,11–2,15	0,11–2,15
P	700	700	0,955–9,645	0,14–1,38	0,14–1,38
Mg	350	300	0,522–9,755	0,15–2,79	0,17–3,25

* (Referenční hodnoty pro příjem živin, 2011)

U výluhů z černých čajů se koncentrace vybraných prvků, které byly porovnány s literaturou neliší, pouze koncentrace hliníku se liší o několik řádů (Tabulka 11).

Tabulka 11 *Porovnání koncentrací vybraných prvků ve výluzích z černých čajů*

Prvek	koncentrace literatura (mg/l)	koncentrace BP (mg/l)
Ca	0,15–9,15 ^d	2,02–4,56
K	20,95–122,5 ^d	65,7–129,8
P	4,9–22,7 ^d	6,06–16,45
Mg	2,3–41,7 ^d	4,13–8,99
Na	0,35–3,35 ^d	2,04–2,51
Mn	0,35–4,2 ^d	0,08–0,97
Al	170–523 ^e	0,07–1,50

^d (Brzezicha-Cirocka, 2017); ^e (Dambiec, 2013)

Koncentrace minerálních látek obsažených ve výluzích z černých čajů jsou nižší než ty v bylinných výluzích, dále je zde porovnána i DDD pro hliník a mangan. (Tabulka 12). Hodnoty DDD pro hliník byly vypočteny pro muže o tělesné hmotnosti 70 kg a ženu o tělesné hmotnosti 60 kg. (Nařízení komise (EU) č. 380/2012 ze dne 3. května 2012, 2012)

Tabulka 12 *Přepočet naměřené koncentrace na DDD ve výluzích z černých čajů*

Prvek	DDD* (mg/den/osoba)		koncentrace (mg/200 ml)	% z DDD	
	muž	žena		muž	žena
Ca	1000	1000	0,405–0,912	0,04–0,09	0,04–0,09
K	2000	2000	13,133–25,968	0,66–1,29	0,66–1,29
Na	550	550	0,408–0,501	0,07–0,09	0,07–0,09
P	700	700	1,211–3,289	0,17–0,47	0,17–0,47
Mg	350	300	0,825–1,798	0,24–0,51	0,28–0,59
Mn	2	5	0,017–0,193	0,85–9,65	0,34–3,86
Al	10	8,6	0,015–0,301	0,15–3,01	0,17–3,5

* (Referenční hodnoty pro příjem živin, 2011)

Koncentrace vybraných prvků ve výluzích ze zelených čajů nebyly při porovnání s koncentracemi prvků uváděných v literatuře odlišné (Tabulka 13).

Tabulka 13 *Porovnání koncentrací vybraných prvků ve výluzích ze zelených čajů*

Prvek	koncentrace literatura (mg/l)	koncentrace BP (mg/l)
Ca	BDL–7,7 ^f	2,9–5,9
K	42,85–303 ^f	27,1–68,9
P	6,5–80 ^f	BDL–5,8
Mg	4,25–13,6 ^f	1,86–4,65
Na	BDL–0,25 ^f	2,43–2,60
Mn	0,9–4,3 ^f	0,13–4,16
Fe	0,2–0,35 ^f	0,04–0,10
Cu	BDL–0,05 ^f	0,028–0,055

^f (Brzezicha-Cirocka, 2016)

Nejen minerální látky se objevily ve značné míře ve výluzích ze zelených čajů, v Tabulce 14 jsou přepočteny i hodnoty DDD pro arzen, hliník, mangan, železo, měď a hliník. Kobalt, který byl také detekován není v tabulce uveden, protože pro něj neexistuje legislativní limit v potravě. Hodnoty DDD pro hliník byly vypočteny pro muže o tělesné hmotnosti 70 kg a ženu o tělesné hmotnosti 60 kg. (Nařízení komise (EU) č. 380/2012 ze dne 3. května 2012, 2012).

Nejlepším zdrojem minerálních látek pro člověka jsou podle výsledků bylinné čaje. Celkově všechny výluhy ze vzorků čaje, z hlediska obsahu rizikových prvků nepředstavují pro člověka žádné zdravotní riziko.

Tabulka 14 *Přepočet naměřené koncentrace na DDD ve vyluzích ze zelených čajů*

Prvek	DDD* (mg/den/osoba)		koncentrace (mg/200 ml)	% z DDD	
	muž	žena		muž	žena
Ca	1000	1000	0,583–1,182	0,06–0,12	0,06–0,12
K	2000	2000	5,428–13,784	0,27–0,69	0,27–0,69
Na	550	550	0,487–0,520	0,08–0,09	0,08–0,09
P	700	700	BDL–1,155	0–0,16	0–0,16
Mg	350	300	0,371–0,929	0,11–0,26	0,12–0,31
Mn	2	5	0,025–0,832	1,25–41,6	0,5–16,6
Fe	10	15	0,007–0,020	0,07–0,2	0,05–0,13
Cu	1	1	0,006–0,011	0,6–1,1	0,6–1,1
Al	10	8,6	0,075–1,307	0,75–13,07	0,87–15,19

*(Referenční hodnoty pro příjem živin, 2011)

6 ZÁVĚR

V této práci byl zkoumán obsah vybraných kovů v tradičních a bylinných čajích a jejich výluzích. Čaje se lišily nejen způsobem přípravy, ale také zemí původu, většina však byla zakoupena na území České republiky.

Metodou ICP-OES bylo analyzováno celkem 35 vzorků tří druhů čajů, které byly mineralizovány mokrou cestou za zvýšeného tlaku a také výluhy připravené podle návodu doporučených od výrobců.

Z naměřených dat vyplývá, že extrakcí čaje horkou vodou do roztoku přechází zanedbatelné množství sledovaných prvků. Prvky, které přešly do výluhů tvořily méně než 0,1 % z původního obsahu v čajích, kromě jednoho vzorku, kdy obsah sodíku činil přibližně 8 % původní hodnoty v čaji. Tyto výsledky jsou v rozporu s dostupnou literaturou, která uvádí především pro makroprvky a bylinné čaje vyšší účinnost extrakce. Zjištěný rozdíl se nepodařilo vysvětlit, neboť naopak obsahy zkoumaných prvků v čajích byly v souladu s obsahy udávaných literaturou. Všechny rizikové prvky, které byly naměřeny ve vzorcích čajů splňovaly legislativní limity a byly z tohoto hlediska zdravotně nezávadné. Častější konzumací čajů lze do těla doplnit zanedbatelné množství doporučené denní dávky zkoumaných prvků.

Statistickým zpracováním naměřených dat bylo možné na základě rozdílné koncentrace prvků od sebe odlišit výluhy ze zeleného a z černého čaje.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- ČERNOHORSKÝ, Tomáš a Pavel JANDERA, 1997. *Atomová spektroskopie*. Pardubice: Univerzita Pardubice. ISBN 80-719-4114-X.
- RASCO, Barbara a Gleyne E. BLEDSOE, c2005. *Bioterrorism and food safety*. Boca Raton: CRC Press. ISBN 08-493-2787-3.
- RUBÁŠOVÁ, Petra, 2017. *Bylinky české zahrádky*. Brno: CPress. ISBN 978-80-264-1517-6.
- NORMAN, Jill a Gwen EDMONDS, 1992. *Čaje a byliny*. Bratislava: Champagne Avantgarde. Malá knihovna encyklopedie kulinárního umění. ISBN 80-715-0049-6.
- EFSA Advises on the Safety of Aluminium in Food, 2008. In: *European Food Safety Authority* [online]. 15 July 2008 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.efsa.europa.eu/en/press/news/080715-0>
- DALIPI, Rogerta, Laura BORGESSE, Kouichi TSUJI, Elza BONTEMPI a Laura E. DEPERO, 2018. Elemental analysis of teas, herbs and their infusions by means of total reflection X-ray fluorescence. *Journal of Food Composition and Analysis* [online]. April 2018, **67**, 128-134. DOI: 10.1016/j.jfca.2018.01.010. ISSN 08891575. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0889157518300103>
- BRZEZICHA-CIROCKA, Justyna, Małgorzata GREMBECKA, Tomasz CIESIELSKI, Trond Peder FLATEN a Piotr SZEFER, 2017. Evaluation of Macro- and Microelement Levels in Black Tea in View of Its Geographical Origin. *Biological Trace Element Research*. **176**(2), 429-441. DOI: 10.1007/s12011-016-0849-2. ISSN 0163-4984. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s12011-016-0849-2>
- Food safety: contaminants and toxins*, 2003. Wallingford: CABI Publishing. ISBN 08-519-9607-8.
- MICHNA, Štefan, 2014. Hliník a jeho slitiny. MICHNA, Štefan a Lenka MICHNOVÁ. *Neželezné kovy*. Ústí nad Labem: Štefan Michna, Lenka Michnová, s. 10-106. ISBN 978-80-260-7132-7.
- HILL, Steve J., c2007. *Inductively coupled plasma spectrometry and its applications*. 2nd ed. Ames, Iowa: Blackwell Pub. Analytical chemistry series. ISBN 978-1-4051-3594-8.
- MILANI, Raquel Fernanda, Letícia Kis SILVESTRE, Marcelo Antonio MORGANO a Solange CADORE, 2019. Investigation of twelve trace elements in herbal tea commercialized in Brazil. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. **52**, 111-117. DOI: 10.1016/j.jtemb.2018.12.004. ISSN 0946672X. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0946672X18305455>
- Léčivé rostliny*, 2010. Praha: Ottovo nakladatelství. Ottův průvodce přírodou. ISBN 978-80-7360-588-9.

DAMBIEC, Małgorzata, Ludmiła POLECHOŃSKA a Agnieszka KLINK, 2013. Levels of essential and non-essential elements in black teas commercialized in Poland and their transfer to tea infusion. *Journal of Food Composition and Analysis*. **31**(1), 62-66. DOI: 10.1016/j.jfca.2013.03.006. ISSN 08891575. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0889157513000562>

MCCANCE, R. A. a Elsie M. WIDDOWSON, 2015. *McCance and Widdowson's the composition of foods*. Seventh summary edition. Cambridge: Royal Society of Chemistry. ISBN 978-1-84973-636-7.

KARAK, Tanmoy, Funso Raphael KUTU, Jyoti Rani NATH, et al., 2015. Micronutrients (B, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, and Zn) content in made tea (*Camellia sinensis* L.) and tea infusion with health prospect: A critical review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. **57**(14), 2996-3034. DOI: 10.1080/10408398.2015.1083534. ISSN 1040-8398. Dostupné také z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10408398.2015.1083534>

HARRIS, Edward D., c2014. *Minerals in food: nutrition, metabolism, bioactivity*. Lancaster: DEStech Publications. ISBN 978-1-932078-97-8.

BRZEZICHA-CIROCKA, Justyna, Małgorzata GREMBECKA a Piotr SZEFER, 2016. Monitoring of essential and heavy metals in green tea from different geographical origins. *Environmental Monitoring and Assessment*. **188**(3). DOI: 10.1007/s10661-016-5157-y. ISSN 0167-6369. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s10661-016-5157-y>

ŽÁČEK, Zdeněk, 1981. *Nad šálkem plným vůně*. 2. dopl. vyd. Praha: Merkur. ISBN 51-370-81.

Nariadení Komise (ES) č. 1881/2006 ze dne 19. prosince 2006: Nariadení Komise (ES), kterým se stanoví maximální limity některých kontaminujících látek v potravinách, 2006. L 364, str. 18-19. Úřední věstník Evropské unie.

Nariadení komise (EU) č. 380/2012 ze dne 3. května 2012: Nariadení komise (EU) č. 380/2012 ze dne 3. května 2012, kterým se mění příloha II nariadení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1333/2008, pokud jde o podmínky použití a používaná množství potravinářských přídatných látek obsahujících hliník, 2012. L 119. Úřední věstník Evropské unie.

DUGAS, Dionýz, 2015. *Naše nejlepší bylinky*. Praha: Ottovo nakladatelství. Babiččin receptář. ISBN 978-80-7451-477-7.

PLŠKO, Eduard, 1994. *Optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem: sborník přednášek z kurzu 15.-17.6.1994 v Komorní Lhotce*. Český Těšín: 2 THETA, 224 s.

Optická emisní spektrometrie v indukčně vázaném plazmatu a vysokoteplotních plamenech, 1992. Praha: Academia. Pokroky chemie. ISBN 80-200-0215-4.

KADLEC, Pavel, Karel MELZUCH a Michal VOLDŘICH, 2012. *Přehled tradičních potravinářských výrob: technologie potravin*. Ostrava: Key Publishing. Monografie (Key Publishing). ISBN 978-80-7418-145-0.

Referenční hodnoty pro příjem živin, 2011. V ČR 1. vyd. Praha: Společnost pro výživu. ISBN 978-80-254-6987-3.

FENTON, Joseph John, 2002. *Toxicology: A Case-Oriented Approach*. Boca Raton: CRC Press. ISBN 08-493-0371-0.

VALÍČEK, Pavel, 2002. *Užitkové rostliny tropů a subtropů*. Vyd. 2., upr. a dopl. Praha: Academia. ISBN 80-200-0939-6.

VALTER, Karel, 2000. *Vše o čaji pro čajomily*. Praha: Granit. ISBN 80-858-0591-X.

Vyhláška č. 78/2003 Sb., 2003. In: . Česká republika, ročník 2003, číslo 78.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AAS	Atomová absorpční spektrometrie
AFS	Atomová fluorescenční spektrometrie
ANOVA	Analýza rozptylu
ATP	Adenosintrifosfát
BDL	Pod limitem detekce (<i>Below detection limit</i>)
ČR	Česká republika
DDD	Doporučená denní dávka
DNA	Deoxyribonukleová kyselina
ES	Evropská směrnice
F-OES	Plamenová fotometrie (<i>Flame optical emission spectrophotometry</i>)
ICP	Indukčně vázané plazma (<i>Inductively coupled plasma</i>)
MS	Hmotnostní spektrometrie (<i>Mass spectrophotometry</i>)
ND	Nebyl detekován
OES	Optická emisní spektrometrie (<i>Optical emission spectrophotometry</i>)
PCA	Analýza hlavních komponent (<i>Principal component analysis</i>)
PTFE	Polytetrafluorethylen
RNA	Ribonukleová kyselina
RTG	Rentgen
UV	Ultrafialové (<i>Ultraviolet</i>)
VIS	Viditelné (<i>Visible</i>)
WHO	Světová zdravotnická organizace (<i>World Health Organization</i>)